



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH

Escola Tècnica Superior d'Enginyeries  
Industrial i Aeronàutica de Terrassa

# **Obsolescència i els límits del creixement. Desenvolupament i anàlisi de models en dinàmica de sistemes**

---

Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual  
de Terrassa

**Grau en Enginyeria Mecànica**

Autor: **Oriol Fontanet Company**  
Director del TFG: **Marti Rosas Casals**

**Octubre 2018**

*Agrair al meu tutor Martí Rosas les moltes hores que hem invertit junts per poder tirar endavant aquest projecte, a la meva família i amics pel suport i els ànims sobretot en aquells moments on la falta d'informació m'ha mantingut menys positiu i per últim a tots els companys de feina, professors d'universitat i centres d'investigació els qui, amb els seus comentaris, han aportat la inspiració tan necessària per la creació de noves idees.*

## Índex

1. Introducció .....	4
1.1. Obsolescència programada .....	4
1.1.1. D'on prové l'obsolescència? .....	4
1.1.2. Tipus d'obsolescència .....	7
1.1.3. Els límits del creixement .....	9
1.1.4. Gestió dels residus .....	11
1.2. Dinàmica de sistemes .....	14
1.2.1. Elements i principis .....	14
1.2.2. Característiques de la dinàmica de sistemes .....	15
1.2.3. Tipus de models .....	15
1.2.4. Procediment .....	16
1.2.5. Tipus de sistemes .....	18
1.2.6. Factors limitatius i factors claus .....	20
1.2.7. Construcció d'un model .....	21
1.2.8. Estudi del model .....	22
2. Objectius .....	23
3. Metodologia .....	24
3.1. Anàlisi del cicle de vida .....	24
3.2. Avaluació de l'impacte ambiental .....	28
3.3. Model .....	29
4. Resultats .....	32
4.1. Cicle de vida mig .....	32
4.1.1. Cas 1: Regulador lineal .....	32
4.1.2. Cas 2: Memòria flash .....	33
4.1.3. Cas 3: Amplificador operacional .....	34
4.1.4. Cas 4: Memòria EPROM .....	35
4.2. Model en dinàmica de sistemes .....	42
5. Conclusions .....	51
6. Referències .....	53

## 1. Introducció

### 1.1. Obsolescència programada

Vivim en una societat de creixement on no creixem per satisfer les nostres necessitats sinó que creixem pel simple fet de créixer. Una societat consumista que centra la seva felicitat en l'adquisició de més i més pertinences. Una societat en la qual la tecnologia dia a dia s'endinsa a les vides de les persones, atrapant-les i convertint-les en addictes de les seves novetats. Això ha portat als empresaris, fabricants i productors a trobar un dels grans àmbits en els quals basar la seva producció, ja que hi veuen una font de riquesa immensa. La innovació, redisseny i remodelació dels seus productes genera un desig, curiositat i una necessitat de posseir-los. Però en quin concepte està basat, d'on prové, a què i a qui afecta. Aquestes són moltes de les preguntes que s'intenten respondre per avaluar l'impacte futur d'aquesta activitat, algunes de les quals intentarem desenvolupar en aquest treball.

El concepte del qual estem parlant és *l'obsolescència programada*. Aquesta programació de la vida útil d'un producte ens porta a un cicle infinit en el qual ens tenen atrapades les empreses de la societat actual. Les empreses consideren, estudien i decideixen quina serà la vida de tot allò que dissenyen per incrementar el volum de vendes. Massa habitualment la programació del final de la vida coincideix amb el final de la garantia del mateix. Però, i si tot durés per sempre? Què passaria quan tothom ho tingués tot? Què passaria amb els llocs de treball i la societat industrial que coneixem? Totes les opcions tenen el seu debat i estudi, mirarem de veure-les i valorar-les. Comencem a analitzar conceptualment el fenomen que ens ocupa: l'obsolescència.

#### 1.1.1. D'on prové l'obsolescència?

El mot obsolescència prové del llatí *obsolescere* que podríem traduir com quelcom que ha perdut la seva utilitat o ha passat de moda (Bartels, Ermel, Pecht, & Sandborn, 2012). Però realment hi ha una gran diferència entre el mot obsolet i el mot inservible. Una cosa obsoleta és quelcom incapaç d'acomplir les funcions en comparació amb un producte nou. En canvi, una cosa inservible fa referència a alguna cosa que no està en condicions per ser utilitzada.

La història d'aquesta praxis no és tant antiga com aquest mot i fins i tot més recent del que la gent podria creure. Ens hem de remuntar fins el segle passat, als anys vint per veure quines van ser les bases que van iniciar aquesta pràctica tant habitual, malauradament, a la societat industrial actual.

Segons la bibliografia, sembla que aquesta praxis va començar amb una reunió a Ginebra (Suïssa) el 23 de desembre de 1924 ("Fundació energia e innovación sostenible sin obsolescencia programada - Cártel Phoebus | Fennis.org," 2016). Aquesta reunió va ser entre les grans empreses fabricants de bombetes:

- Osram
- Philips
- Tungsram
- Associated Electrical Industries
- Compagnie des Lampes
- International General Electric
- Lámpades "Z"
- GE Overseas Groupvan

En aquella reunió es va crear el càrtel *Phoebus* amb l'objectiu de controlar la producció i venda de bombetes. El càrtel perseguia objectius varis com controlar la producció, les vendes, els preus, marcar els mínims de qualitat i sobretot marcar la duració de les bombetes a 100h.



*Il·lustració 1: bombeta encesa des de 1901 a l'estació de bombers de Livermore Califòrnia.  
Font: (Masvoltaje, 2016)*

Les bombetes en aquells moments duraven al voltant de les 1500 hores. Per tant, això va suposar la primera inversió de la història per desmillorar un producte, limitant-ne les especificacions tècniques en els camps de durada. L'objectiu era controlar el consumidor, fent que comprés el seu producte més regularment per tal d'eliminar el que ells veien com una gran desavantatge econòmica. La seva durabilitat era un impediment per l'augment de les vendes.

Aquest càrtel va durar fins el 1939, encara que no se sap del cert si va ser mantingut durant més anys en secret. El més important era que les bases de la obsolescència ja estaven escrites i les seves accions ja eren irreversibles. Aquesta unificació el que va aconseguir va ser eliminar tota aquella competència que seria l'única capaç de fer investigacions i avanços tecnològics cap a la durabilitat.

Els fabricants podien arribar a ser penalitzats si algun dels seus productes sobrepassaven el límit de durabilitat establert. Els projectes i dissenys que suposaven una millora eren modificats i arxivats.

Va ser l'any 1953 quan una sentència va prohibir la pràctica que permetia la disminució de la vida útil dels productes, encara que aquesta va seguir ben present. Anem a parlar possiblement d'un dels següents grans casos d'obsolescència programada de la història i possiblement el primer cas d'obsolescència de disseny. Aquest va ser desenvolupat per Alfred Pritchard Sloan, president de General Motors entre els anys 1923 i 1937 (Ward, 2002). En els anys 20 el model T de John Ford tenia un èxit incontestable en el mercat automobilístic americà. Però aquest model estava pensat per durar i durar, cosa que no era prioritària en aquell moment d'auge per els seus consumidors (Dannoritzer, 2012).



Il·lustració 2: Models GM. Font: ("1920 Oldsmobile Model 37-B - Information and photos - MOMENTcar," n.d.)

Sloan, president de la competència, va trobar el que de veritat volia la gent. General Motors treia un model anual, amb un disseny innovador que va fer que la gent deixés de pensar quan de temps duraria el seu vehicle i es centrés únicament en l'estètica. La funcionalitat, durabilitat i simplicitat de Ford van quedar en un segon pla i General Motors va aconseguir dominar aquella època.

L'obsolescència programada no es va poder originar fins l'arribada de la producció en massa on els preus van començar a ser més assequibles pels consumidors. Fets com la crisi de Wall Street de 1929 van posar en entredit el sistema capitalista i la societat de consum que hi anava lligada.

Altres proposaven l'obsolescència programada com una obligatorietat per sortir de la gran recessió que es vivia. És el cas de Bernard London quan va treure al 1932 el seu llibre *The new prosperity* (London, 1933). La idea era que un cop superada la crisi tots els productes quedessin morts legalment i s'haguessin de tornar a l'administració. Tot i que la seva idea no va tenir èxit era una proposta per fer que la indústria continués treballant i reactivar així l'economia.

Un altre nom a destacar seria el de Brooks Stevens. El seu principi era seduir al consumidor i tornar obsoletes totes les obres anteriors simplement amb el disseny. Va crear la Societat de dissenyadors industrials d'Amèrica. La seva visió era la següent: "inculcar al comprador el desig de posseir alguna cosa una mica abans, més nova, i millor". ("Our History | Brooks Stevens," 2018)

Aquests van ser els antecessors de molts altres casos que hi hagut al llarg de la història.

#### 1.1.2. Tipus d'obsolescència

L'objectiu principal del fabricant és que quan el producte deixi de funcionar n'adquirim un altre, a ser possible de la seva mateixa empresa, perquè els beneficis tornin un altre cop a ells. Això crea un gran joc de tanteig entre la durabilitat del producte i la satisfacció dels consumidors vers la marca, per tal d'aconseguir fidelitzar-los. Aquest nou producte ha de satisfer les necessitats estètiques, funcionals i econòmiques del client. Les bases, relacionades entre si, que creen els tipus d'obsolescència que coneixem són les següents (Packard, 1960):

- **Obsolescència programada.** També coneguda com obsolescència de qualitat o obsolescència incorporada. Consisteix en decidir, en el moment del disseny, quan el producte deixarà de funcionar o bé deixarà de complir amb les seves funcions de la manera esperada. Aquest tipus d'obsolescència acostuma a manifestar-se en els components electrònics, els quals tenen un cicle de vida més curt que els sistemes que els suporten. L'obsolescència en components no electrònics és molt més lenta que la de components electrònics o software. Des del punt de vista del client, les expectatives de disponibilitat i durabilitat no són complertes pel producte adquirit, cosa que li genera sensació de desinformació i incertesa. En aquest punt és on es podrien trobar indicis de frau. El problema rau en que és molt difícil demostrar i aportar dades de pes que demostrin aquesta manipulació.



*Il·lustració 3: iPod 3. Cas de les bateries de l'iPod de la marca Apple que deixaven de funcionar al cap de 18 mesos, destapat pels germans Neistat  
Font: ("iPod's Dirty Secret - from 2003 - YouTube," 2003)*

- **Obsolescència de disseny.** També anomenada de disseny, de moda o psicològica, es basa en l'aplicació de petits canvis o reedisenys amb la utilització dels mateixos components però canviant-ne l'aspecte per tal d'aconseguir crear en el consumidor la necessitat d'adquirir-lo.
- **Obsolescència tecnològica o de funció.** Les grans empreses estan llençant al mercat millores contínues sobretot en l'àmbit tecnològic. Aquestes ens fan creure en el caràcter imprescindible d'aquella nova funcionalitat en aquell determinat aparell electrònic. Així volen que canviem un producte totalment vàlid per un altre amb, simplement, una nova funcionalitat extra que, possiblement, ni farem servir. Creen una sobrecàrrega de funcions innecessàries.



Samsung  
GALAXY S

Il·lustració 4: Evolució Samsung Galaxy Font: ("Here's Another Samsung Galaxy S5 Render, Looks Quite Different from Previous Galaxy S Family Members | Androidheadlines.com," 2013)

### 1.1.3. Els límits del creixement

El gran problema d'aquest sistema capitalista i del model d'indústria que es planteja actualment és la no consideració de l'extralimitació ecològica planetària. (Brown et al., 2011; Meadows, Meadows, Randers, & Behrens, 1972) S'està treballant amb recursos en gran part no renovables. Aquests, després de la seva vida útil són destruïts o abandonats generant un volum elevat de residus i un consum insostenible de recursos. La societat del consum en la que vivim es fonamenta en un model de producció lineal basat en el prendre-fer-utilitzar-disposar (an., *take-make-use-dispose*) ("Circular Economy System Diagram - Ellen MacArthur Foundation," 2017) model inassolible en el nostre món finit.

## OUTLINE OF A CIRCULAR ECONOMY

## PRINCIPLE

1

Preserve and enhance natural capital by controlling finite stocks and balancing renewable resource flows  
ReSOLVE levers: regenerate, virtualise, exchange

## PRINCIPLE

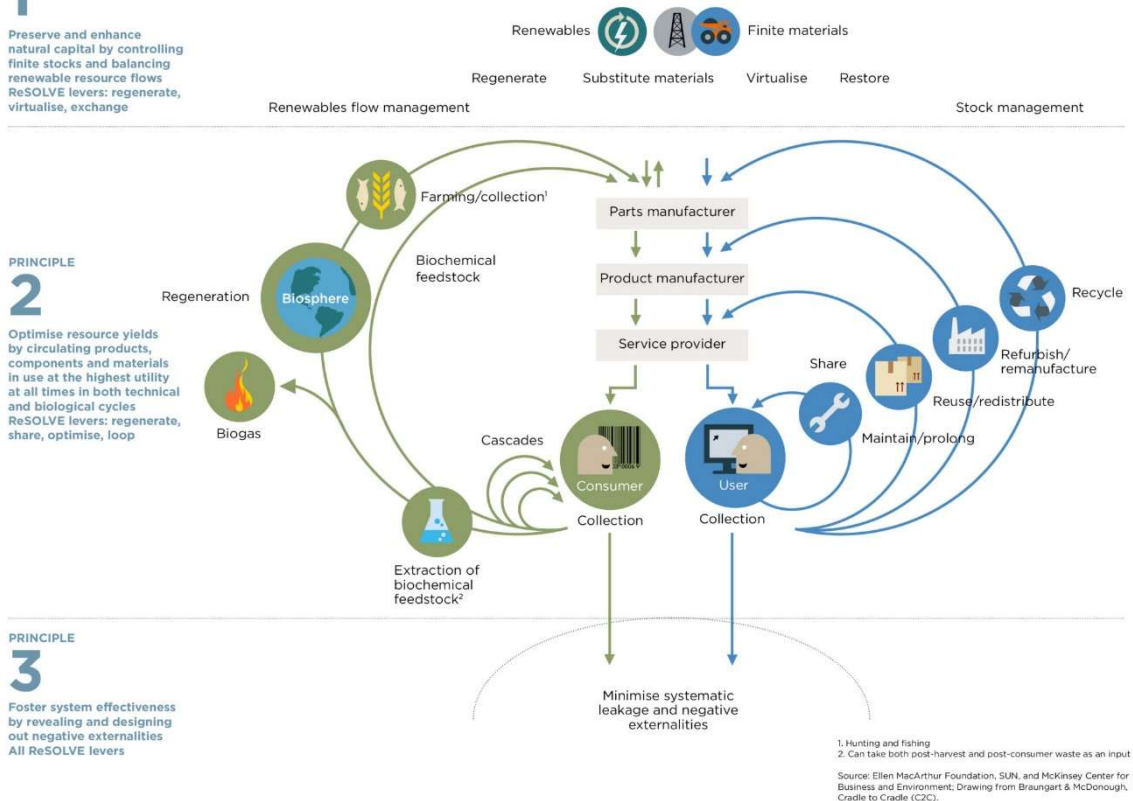
2

Optimise resource yields by circulating products, components and materials in use at the highest utility at all times in both technical and biological cycles  
ReSOLVE levers: regenerate, share, optimise, loop

## PRINCIPLE

3

Foster system effectiveness by revealing and designing out negative externalities  
All ReSOLVE levers



Il·lustració 5: model economia circular. Font; ("Circular Economy System Diagram -

Ellen MacArthur Foundation," 2017)

Aquí és on comencen a sorgir models d'economia circular. L'objectiu d'aquests models és aconseguir un cicle de vida on productes, serveis, materials i energia un cop hi entrin se'n desaprofitin quants menys elements millor. Un cicle de vida tancat i realimentat constantment per la matèria final. L'objectiu és aconseguir la màxima eficiència dels recursos utilitzats.

La idea d'una remodelació en l'enginyeria i la producció de productes va portar al nou concepte del bressol al bressol (an., *cradle to cradle*) (Braungart, McDonough, & Bollinger, 2007). Un concepte on la inspiració és la naturalesa amb l'objectiu de reduir al màxim l'impacte sobre el medi. La intenció és detectar els problemes des de l'origen, centrant-se en el disseny i estudiant-ne totes les fases per fer que les despeses de consum energètic siguin zero. En un cercle tancat la presència de nous materials hauria de ser pràcticament nul·la on el que no pot ser utilitzat per una cosa ho serà per una altra.

Aquest model té molt més en compte l'impacte mediambiental del producte, tan en el procés productiu com durant la seva vida útil i posterior segon ús, intentant-lo reincorporar novament al cercle.

El primer objectiu en aquest sistema hauria de ser sempre reparar. Si aquest punt no fos possible, reutilitzar les matèries o bé reciclar-les. Aquells elements que no siguin capaços de complir cap dels tres punts anteriors, s'hauria d'intentar extraure'n l'energia que es pugui. Les avantatges pel que fa a la generació de residus, l'ús de recursos naturals, el consum energètic i el medi ambient serien molt elevades.

La producció i l'enriquiment de les grans indústries baixaria però això no suposaria en cap cas pèrdua de llocs de treball, sinó canvis de mentalitat i de tasques. La necessitat de desmuntatge i reutilització i la creació de models empresarials on els fabricants tinguessin incentius econòmics per recollir i reutilitzar impulsaria un cercle amb un fort canvi de mentalitat, lligat a una viabilitat econòmica i ecològica.

Estudis com la petjada ecològica *WWF living planet report* permeten veure la greu situació actual. (Brown et al., 2011; Meadows et al., 1972). (Meadows, Randers, & Meadows, 2004) És molt important conèixer els límits del món on vivim, només així aconseguirem fer reflexionar i conscienciar dels gran problemes existents. Hi ha molts instruments d'estudi i observació útils per delimitar el nostre sistema, el planeta Terra. Existeixen moltes teories científiques i econòmiques, dades sobre els recursos naturals i l'estat actual del medi ambient. També models informàtics predictius i la nostra visió del món. Quan nosaltres intentem abordar un problema no podem evitar que ens influeixi la nostra manera de veure i viure. El nostre punt de vista ens condiciona l'enfocament que donem a l'estudi. L'únic que hem d'intentar és descriure aquesta influència el més detalladament possible.

#### 1.1.4. Gestió dels residus

Una de les problemàtiques principals de l'obsolescència programada són els residus que genera. Aquests tenen un impacte mediambiental que estem passant per alt. Els residus de caràcter electrònic acaben a països com Ghana, l'Índia, la Xina o Nigèria. Aquest països estan rebent les conseqüències més greus dels sistemes consumistes dels països desenvolupats ("L'abocador tecnològic," 2015).

Els articles, tot i saber que són inservibles, són declarats per les indústries com articles de segona mà, justificant que se'ls hi podria donar una segona vida. La realitat és que de les tones i tones que se n'envien només una petita part és utilitzable. La resta acaba formant piles de residus. S'han signat tractats i lleis per intentar evitar aquesta praxis com el Conveni de Basilea, de 1992 ("Basel Convention Home Page," 2011).

Aquest tractat internacional pretenia que els països del tercer món no fossin utilitzats com a abocadors, però de res han servit.

En aquests països es cremen els electrodomèstics per així aconseguir extreure'n els metalls de l'interior. La crema de plàstics i la inhalació d'aquests fums té unes conseqüències fatals pels ésser vius.



*Il·lustració 6: Crema d'electrodomèstics per l'extracció de metall Font: ("L'abocador tecnològic," 2015)*

Els residus d'aparells electrònics són els que estan creixent més ràpid en l'actualitat degut a la constant renovació tecnològica que vivim. Hem d'allunyar-nos de la influència de modes i publicitats per evitar consums irresponsables que engreixen aquesta pràctica d'obsolescència.

Des de Europa s'estan intentant començar a posar impediments a la pràctica de l'obsolescència. Aquest fet és molt difícil de regular i sobretot demostrar, ja que s'haurien d'aportar proves que demostrassin la incorporació de defectes de forma deliberada.

Hi ha diversos factors que ajudarien en el canvi de mentalitat que esperem. La importància d'una correcta elecció dels materials i l'energia, tant en les seves característiques com en la seva fabricació, és fonamental. És molt important la difusió del concepte d'obsolescència, els seus efectes i les seves conseqüències. Si s'aconseguís crear un mercat on l'existència de productes sense obsolescència tingués un pes important aconseguiríem la creació d'una competència de pes que fes replantejar la situació a les grans marques. L'existència de polítiques mediambientals que regulin els recursos limitats del planeta ha de ser igual d'important.

L'obsolescència programada té una clara motivació econòmica per mantenir el model d'economia actualment instaurat, on els productes comprats durin mentre es segueixin pagant mitjançant càlculs de períodes d'amortitzacions on al final dels quals tornarem a consumir i llençar i engreixarem la quantitat de residus alhora que reduïrem els recursos disponibles.

Però quins són els costos reals dels recursos utilitzats? Quin és el seu consum d'energia, tant directe com indirecte? Quins són els gasos contaminants i els altres efectes negatius pel planeta? És més gran l'impacte de producció, de reciclatge, d'abocament,...?

## 1.2. Dinàmica de sistemes

Per tal d'explicar i resoldre les preguntes plantejades al primer apartat, calen models que permetin la projecció a futur de les dinàmiques socials i ecològiques existents per tal de definir polítiques que permetin millorar el benestar global del planeta. Entre els molts tipus de models existents hem triat els de tipus matemàtic i predictiu que es poden desenvolupar amb la dinàmica de sistemes (Aracil, 1978). Tot seguit explicarem en que consisteix.

Estudis on el número de paràmetres quantificables o variables interrelacionades són molt elevats fan que la complexitat augmenti. És en aquests casos on la dinàmica de sistemes ens permetrà tenir una visió més estructurada del problema. Al crear aquesta visió on poder veure cadascun dels components per separat aconseguirem reduir la complexitat de la que parlàvem i podrem obtenir resultats més ràpids i fiables que amb d'altres mètodes.

Veurem que les variables del món real es regeixen per equacions senzilles i no per complexes fórmules matemàtiques. La dinàmica de sistemes és aplicable en tots aquells casos on hi hagi una realimentació d'informació entre les variables. (García, 2003)

### 1.2.1. Elements i principis

Però realment que és la dinàmica de sistemes? En quins principis es basa i quins són els elements que la fonamenten? L'element fonamental perquè es pugui donar un cas d'estudi és l'existència d'un sistema.

Un sistema és aquell conjunt de variables o elements interrelacionats entre si, en una part limitada de l'espai. Per tant, el que necessitem són un seguit d'elements o variables i un espai, delimitat correctament, pel nostre estudi. Hi poden haver molts elements amb objectius contraposats però tots ells influeixen en l'estat final del sistema en menor o major mesura.

Aquest estat final té un número finit de possibles estats que determinaran el grau de desordre del sistema. A mesura que el nº de variables augmenta també ens resultarà més complicat conèixer en quin estat final ens trobarem.

Aquests tipus d'estudis estan basats en el pensament sistèmic, on s'analitzen les interrelacions entre les variables i de les variables amb l'entorn. Apareixen patrons de relació que ens permetran construir sistemes model simplificadors d'estudi. (Scheel Mayenberger & Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Universidad Virtual., 2001)

### 1.2.2. Característiques de la dinàmica de sistemes

Estem intentant simplificar al màxim i reduir la complexitat d'aquests estudis. Quan creem aquests models hem d'aconseguir eliminar les ambigüitats que es puguin produir tant com puguem. L'única manera que tenim és detallar amb precisió totes les hipòtesis i suposicions sobre les quals s'ha creat el model. També és molt important definir-ne les interrelacions. Algunes d'elles poden ser molt directes però altres són menys clares. Explicant-les permetrem a tothom mostrar el perquè de la nostra presa de decisions. Els horitzons temporals i el seu abast són moltes vegades massa amplis, per poder experimentar els efectes dels canvis i accions que acabem decidint. El fet de delimitar-lo tant com puguem, ajudarà als demés a veure en un futur perquè el model era correcte o les possibles errades. (Meadows et al., 2004)

Segons Forrester (1968) la dinàmica de sistemes és la metodologia que ens permet entendre els canvis mitjançant les equacions diferencials. Aquestes unides a l'estadística són les bases que ens permetran interpretar totes les dades de l'estudi. (Donato Campos, Dormido Canto, & Morilla García, 2005)

Cal tenir sempre present que aquest món actual es comporta segons les lleis basades en l'economia de mercat, on l'objectiu és la maximització del benefici econòmic i on només es tenen en compte costos de producció monetaris. No es té en consideració ni el planeta ni el benestar de les persones. La dinàmica de sistemes té les seves aplicacions en tot allò on hi intervenen els éssers humans. Només falta voluntat de canvi.

Llibres com "Dynamics of growth in a finit world" (1972) de D.L.Meadows tenen el seu gran mèrit per haver identificat la gran crisi de matèries primes de 1973, predient-ne les seves conseqüències (Brown et al., 2011; Meadows et al., 1972). Casos com aquests demostren la importància de la creació i interpretació de models matemàtics predictius.

### 1.2.3. Tipus de models

Podem identificar principalment tres grans tipus de models segons el seus objectius (Johnson, 2011). Els primers són models predictius on l'objectiu és l'obtenció de dades i valors precisos de futur. Alguns exemples podrien ser els models de predicció meteorològica. Per aquests, el nivell de precisió ha de ser màxim, la variació mínima de qualsevol dels seus paràmetres inicials ens pot situar en condicions finals completament oposades. És el que coneixem com a teoria del caos. (Strogatz, 1994)



Un altre tipus de model són els models de gestió. En un model de gestió, l'objectiu és comprovar alternatives, és a dir, veure si l'opció A ens condueix a un punt millor que l'opció B. La precisió i la quantitat de valors a analitzar és menor, però es tracta d'objectius completament diferents. Un exemple podrien ser els models creats per la gestió i control d'espècies en perill d'extinció.

Existeix un tercer model, que possiblement és el més allunyat de la dinàmica de sistemes. Només pretén pronosticar l'evolució d'una variable, però no té per objectiu conèixer el perquè es produeix aquesta evolució. Són models econòmics amb un enfocament conductista, basat en patrons, que ens serveixen per estudiar el valor de les accions o els mercats.

En l'aplicació de la dinàmica de sistemes pretenem comprendre les causes estructurals que provoquen el comportament del sistema. Si analitzem cada punt intermedi podem recolzar amb arguments consistents les nostres hipòtesis, justificant com hem arribat al valor final. És per això que el tercer model no s'ajusta estrictament a aquesta definició.

En aquest treball, com hem comentat, intentarem crear un model del segon tipus. Amb aquest pretenem conscienciar de la importància d'aplicar canvis ràpids i eficaços i estudiar quines serien les polítiques d'actuació més adients, en els diferents camps. També com frenar totes les conseqüències negatives derivades de l'actual sistema econòmic, suposant com a factor clau d'actuació l'obsolescència programada.

#### 1.2.4. Procediment

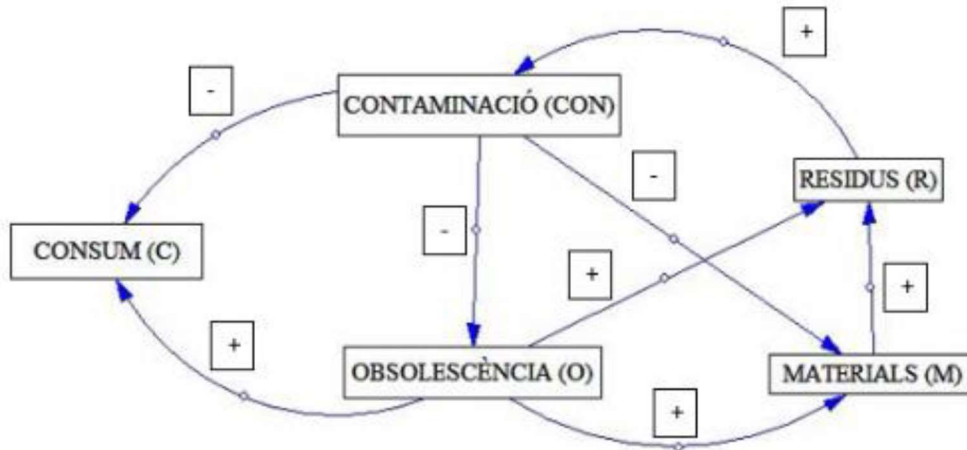
El primer pas ha de ser la identificació amb claredat de la problemàtica d'estudi. Hem de buscar tanta informació com puguem: articles d'experts, documents, llibres, documentals, arxius,... Quan més busquem, més elements i variables que tinguin relació obtindrem, Les relacions que tenen entre elles i el seu comportament començarà a ser definit. Això ens introdueix al següent pas: la definició del sistema.

Aquí hem de definir-ne els elements. Per definir les variables hem de donar unes fronteres al nostre sistema. Les interrelacions entre elements ens poden arribar a portar per camins infinits, per això cal aplicar un bon criteri i incloure només aquells elements amb una influència raonable.

Hi ha elements que són variables d'entrada, generades pel nostre entorn d'estudi, però n'hi ha d'altres que són variables de sortida. Aquestes les genera el sistema. La presència d'aquest tipus de variables pot fer que no puguem precisar-ne el nombre exacte des d'un principi.

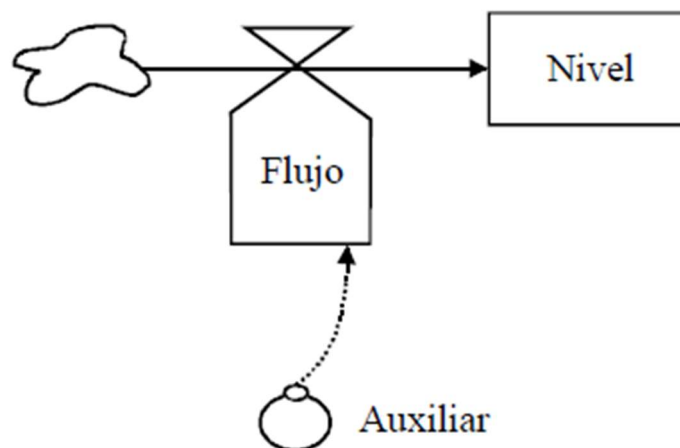


Un cop sabudes quantes més variables millor, continuarem per la creació d'un diagrama causal on veurem les relacions d'una manera més gràfica i sobretot si les influències entre elles són positives o negatives. Aquest diagrama és molt més interpretable i ens servirà per explicar a l'usuari el següent pas.



Il·lustració 7: Exemple de diagrama causal Font: Elaboració pròpia

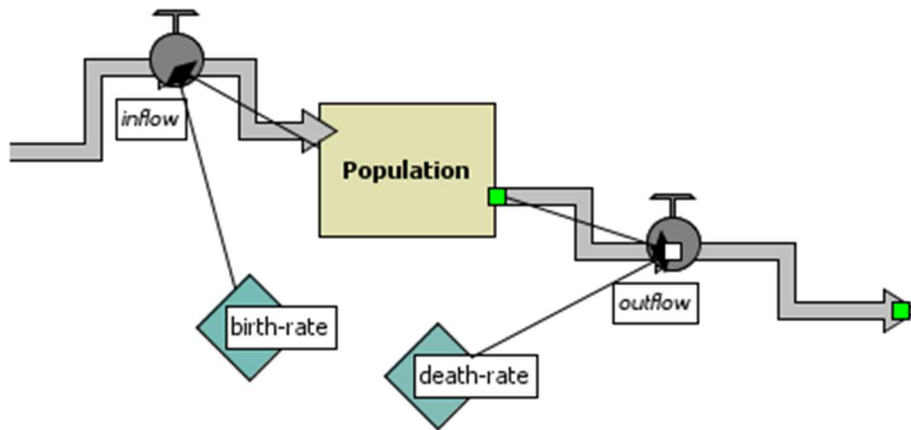
Quan tinguem el diagrama fet el traduirem als anomenats diagrames de flux o diagrames de Forrester. Aquests són models informàtics que ens permetran escriure les equacions i cadascuna de les variables, per poder simular al llarg del temps el nostre model. Més endavant en parlarem en detall.



Il·lustració 8: Elements bàsics diagrama de Forrester. Font: (Donato Campos et al., 2005)

El següent punt és l'anàlisi del comportament del model. Per comprovar el comportament, el que hem de fer principalment és veure si és capaç de reproduir el que ja ha succeït al passat. Si, per exemple, introduïm les dades de la situació fa deu

anys i a l'executar el nostre model és capaç de mostrar-nos una situació similar a la de l'estat actual, voldrà dir que hem fet un calibratge força ajustat i que el nostre model és vàlid. No hem de comprovar tant que els valors siguin exactes, si no mirar les evolucions de les gràfiques i l'acceptabilitat de les suposicions fetes al definir el model.



Il·lustració 9: Model de Netlogo Font: ("Modelització amb equacions," Roses)

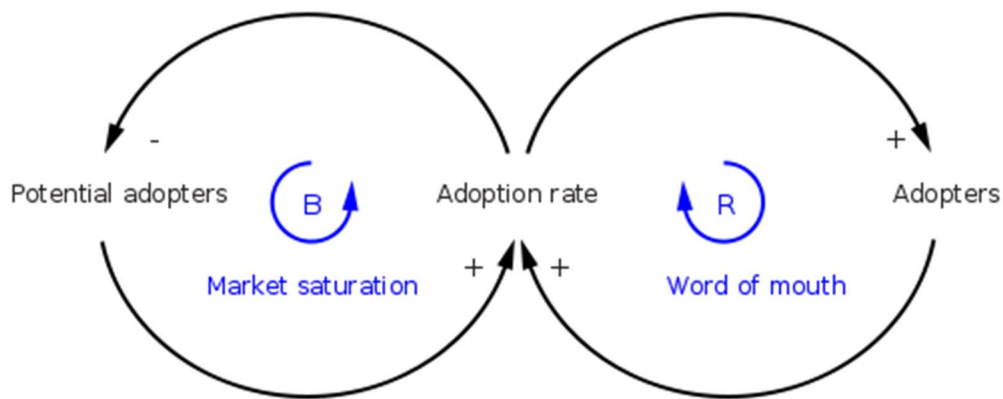
Un cop feta aquesta comprovació es perfeccionarà el model, s'anirà novament al punt anterior i es faran els retocs pertinents, analitzant-ne el comportament altre cop. Així fins a arribar als objectius fixats o fins a considerar que les modificacions no ens compensen, ja que creiem que l'aproximació és prou bona. Aquest punt s'ha de tenir en compte, ja que mai aconseguirem calibrar un model al 100%.

I per últim, quan el model ens ofereix una sortida coherent, ja podem simular l'impacte de les polítiques o decisions que ens portaran a solucionar el problema plantejat, tenint en compte la previsió d'impactes. Localitzant-ne els factors claus (an., *leverage point* o punts de palanca) ens pot permetre a vegades actuar amb més facilitat. (anàlisi de sensibilitat). Moltes vegades resulta més efectiu actuar sobre les relacions que no pas sobre els propis elements.

#### 1.2.5. Tipus de sistemes

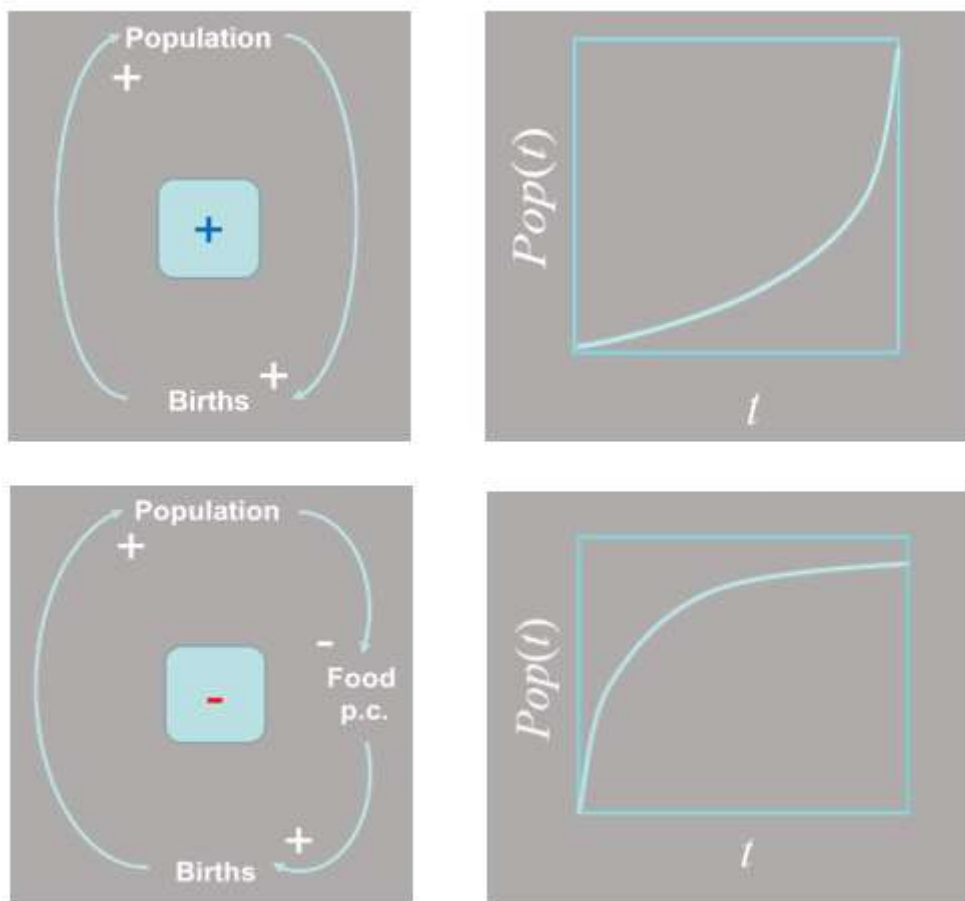
Per tal de veure i interpretar els tipus de sistemes, hem de començar per l'inici, o sigui per les relacions simples.

Quan una variable influeix sobre una altra variable i aquesta segona produeix una influència sobre la primera, diem que hi ha un bucle de realimentació tancat. Això es pot produir amb dues, tres, quatre o infinites variables. La condició indispensable és que el sentit de les influències sigui sempre el mateix i s'acabi tancant el bucle. Ara bé, cal diferenciar quan les influències són positives de quan són negatives.



Il·lustració 10: 2 bucles de realimentació. Font: (System dynamics, 2018)

En els bucles de realimentació positius, el número de signes negatius és parell. En els bucles negatius, els signes negatius són imparells. Els bucles negatius porten a situacions estabilitzadores, pel contrari, els bucles positius ens porten a la inestabilitat. Això ens permet parlar dels diferents tipus de sistemes.

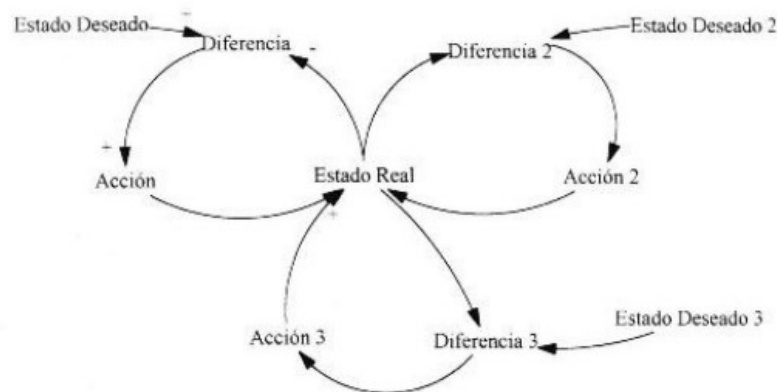


Il·lustració 11: Part superior: bucle de realimentació positiu, tendència a la inestabilitat. Part inferior: bucle de realimentació negatiu, tendència a l'estabilitat. Font: Elaboració pròpia

La primera classificació ha de ser entre sistemes estables i inestables. Els sistemes estables, formats per bucles negatius, tenen quasi sempre la mateixa estructura, estan formats per un estat desitjat i un estat real, si existeix una diferència entre ells es realitzen les accions necessàries per igualar els dos estats. Els sistemes inestables, formats per bucles positius, són efímers i destructius, per tant difícils d'estudiar. Quan modelem els hem d'intentar evitar.

Quan un sistema té més de quatre bucles se'ns fa molt difícil interpretar com afectaran i modificaran les relacions. Això ens pot portar a situacions contraintuïtives on les nostres accions no seran les encertades.

Això dona pas a sistemes més complexes, com els sistemes hiperestables. Múltiples bucles negatius connectats faran que qualsevol acció que intenti canviar la dinàmica sigui contrarestada, ja que el sistema està superestabilitzat.



Il·lustració 12: Sistema hiperestable. Font: (García, 2003)

També trobem sistemes sigmoïdals, on el bucle dominant primerament és positiu i llavors agafa força un bucle negatiu, que proporciona l'estabilitat necessària.

I per últim, els sistemes oscil·lants, on observem un comportament cíclic. Durant un període tenim uns valors i en l'altre període uns altres. Això es va repetint període rere període.

#### 1.2.6. Factors limitatius i factors claus

Tot sistema té un element que n'impedeix l'evolució. Aquest és conegut com el factor limitatiu. Només n'hi ha un a cada moment, però els canvis que es produeixen al llarg del temps podem fer que canviï ja que no té perquè ser sempre la mateixa variable. La identificació d'aquest factor en cada període ens pot ajudar a comprendre millor el sistema.

Un altre punt important és la identificació dels factors claus. Anteriorment hem mencionat la seva importància, però ara n'explicarem com es podrien identificar. Aquests factors, a diferència dels limitatius, no solen variar i gairebé sempre són els mateixos. Per identificar-los és imprescindible conèixer el funcionament del sistema que estem estudiant, s'han de valorar i tenir presents totes les variables, ja que més d'una vegada no és una de les més obvies i el més important és saber en quin sentit s'ha de fer l'acció per no agreujar el problema.

Aquests dos factors són possiblement els punts claus de l'estudi i per això són els que hem d'obtenir-ne més dades o calcular de manera més exacte.

#### 1.2.7. Construcció d'un model

Anteriorment hem parlat dels diagrames de flux o diagrames de Forrester. Aquests eren els models informàtics que ens permetien escriure les equacions i cadascuna de les variables, per poder simular al llarg del temps el nostre model.

Aquests diagrames utilitzen tres tipus de variables: de nivell, de flux i auxiliars. Tots els elements presents al diagrama causal seran considerats primerament variables de nivell. Aquestes variables pateixen fluctuacions, això ens porta a l'aparició de variables de flux. Tots els nivells que es mantinguin constants poden ser considerats variables auxiliars, cosa que ens simplificarà el sistema.

Les variables de nivell són les variables principals de model i per tant les que ens mostren la situació en la que es troba el model. Les seves variacions seran estudiades mitjançant les gràfiques que ens permetran veure d'una manera més visual aquests canvis. Aquestes varien en funció de les variables de flux. Són representades amb un rectangle i les seves unitats són bàsiques o fonamentals, no apareixen mai unitats derivades o fraccions.

Les variables de flux són les funcions temporals que recullen les variacions de les variables de nivell ocasionades per l'evolució del sistema. Les seves unitats són unitats derivades, fraccions. Ens serveixen per fer el canvi d'unitats entre dues variables de nivell, ja que totes han de quadrar.

Les variables auxiliars ens aporten informació extra que ens ajudarà a delimitar el sistema quan més millor.

#### 1.2.8. Estudi del model

El comportament del model creat té les bases en unes certes hipòtesis plantejades sobre les circumstàncies actuals, és a dir, totes les conclusions seran acceptables sempre i quan no variïn les circumstàncies exteriors que afectin a les parts més importants. Per tant, es necessiten revisions periòdiques per mantenir un model sempre actualitzat.

## 2. Objectius

L'objectiu principal de l'estudi és confeccionar un model d'anàlisi a través de la dinàmica de sistemes per tal de poder valorar l'impacte en diversos àmbits de l'obsolescència programada.

Per tal de poder aconseguir aquest objectiu ens en plantejem altres d'específics:

- Definir el concepte d'obsolescència programada, aquest és un dels factors que estan marcant i marcaran els límits del creixement. La conversió de molts productes en objectes de consum massiu i el sistema capitalista en que es basa la societat actual ha portat inevitablement a les empreses i als seus enginyers i dissenyadors a programar el final de la vida dels seus productes per incrementar la demanda. L'objectiu serà determinar-ne els seus orígens, la raó de ser, els efectes i les conseqüències per la sostenibilitat del nostre planeta.
- Aprofundir en les metodologies actuals d'anàlisi de l'obsolescència, especialment en l'àmbit de les TIC i els elements electrònics.
- Desenvolupar un model en dinàmica de sistemes que integri el concepte de l'obsolescència juntament amb el creixement poblacional i el consum de recursos i que permeti l'anàlisi i la projecció a futur del sistema.

L'objectiu de la creació d'aquest model no serà el de predir amb exactitud quan s'acabaran les matèries primes, o quan els nivells de contaminació siguin insostenibles, o quan perdem la capacitat d'emmagatzemar i gestionar els residus. El que pretenem és crear un model que, almenys qualitativament, ens permeti suggerir diferents polítiques per millorar aquest greu problema. Per tant, ens tocarà valorar l'efectivitat de l'aplicació de polítiques de sostenibilitat mediambiental que es puguin dissenyar.

### 3. Metodologia

#### 3.1. Anàlisi del cicle de vida

El primer que hem de fer per començar a demostrar l'augment de l'obsolescència any rere any és buscar les dades que ens reflecteixin una disminució de la vida dels productes que ens envolten. (Bartels et al., 2012)

Els components, tant electrònics com elèctrics, sabem que són dels elements on els canvis han sigut més significatius i on podríem observar millor l'evolució al llarg dels anys.

Utilitzarem un mètode per generar algorismes per predir la data d'obsolescència de components electrònics que no tenen paràmetres d'evolució clars. Està basat en el càlcul del cicle de vida, usant bases de dades de casos d'obsolescència anteriors. Molts components electrònics no tenen un paràmetre evolucionari simple i identificable.

El mètode que usem, prediu el cicle de vida independentment de si existeix un paràmetre evolucionari o no. Entenem com a paràmetre evolucionari quan les millores que es produeixen en les característiques del component provoquen una obsolescència més ràpida. Aquest es defineix com:

$$Lp = Do - Di \quad (\text{Eq. 1})$$

On:

- $Lp$  = temps que el component estarà disponible (an., *mean procurement lifetime*, MPL), també definit com cicle de vida o temps de duració del producte. (Bayus, Griffin, & Lehmann, 1998) (Helsen & Schmittlein, 1993)
- $Do$  = és la data de discontinuïtat del fabricant
- $Di$  = data d'introducció

Per aconseguir aquesta informació hauríem de preguntar-la als proveïdors o podríem utilitzar una base de dades. En aquest cas per tal d'obtenir la data  $Do$  i  $Di$  utilitzarem la informació de la base de dades SiliconExpert. Aquesta aplicació obté directament les dades de les webs dels fabricants per informar del cicle de vida, l'inventari disponible i el compliment de les normatives mediambientals. S'actualitza de manera setmanal, mensual o quadrimestral. ("SiliconExpert - Electronic Components Database," 2018)

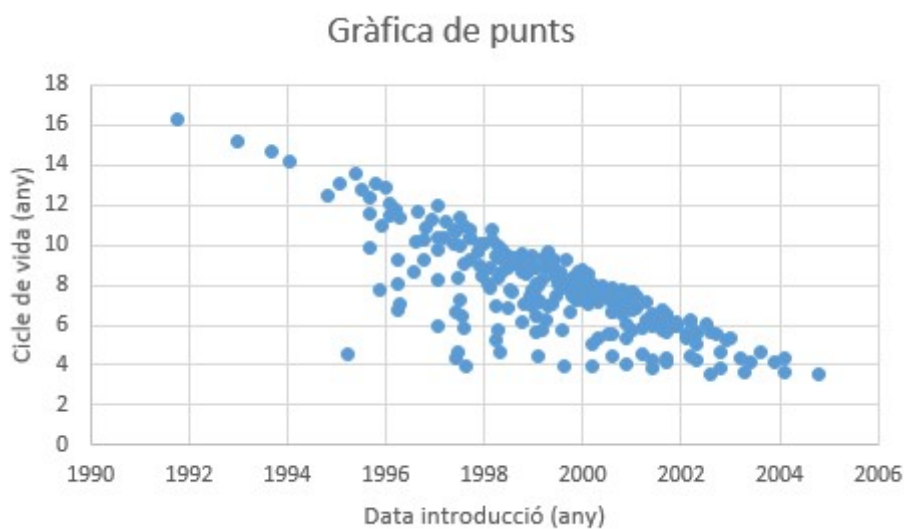
El client normalment acostuma a valorar el producte final, és a dir, es preocupa si el seu ordinador deixa de funcionar o la seva nevera deixa de refredar, però el que hem d'analitzar nosaltres són els seus components interns. Quan analitzem els cicles de vida de tots els components i descobrim el que tingui una vida més curta, trobarem el punt feble del sistema i podrem saber on es produirà la fallida.



El que hem fet en aquest estudi és buscar 4 bases de dades referents als cicles de vida de models concrets dels següents elements electrònics:

- Regulador lineal
- Memòria flash
- Amplificador operacional
- Memòria EPROM

D'aquests valors les dades que ens interessin per començar a treballar, com hem comentat anteriorment, són la relació entre el cicle de vida i la data d'introducció. D'aquesta manera podrem calcular, mitjançant l'equació 1, on es produeix l'obsolescència.



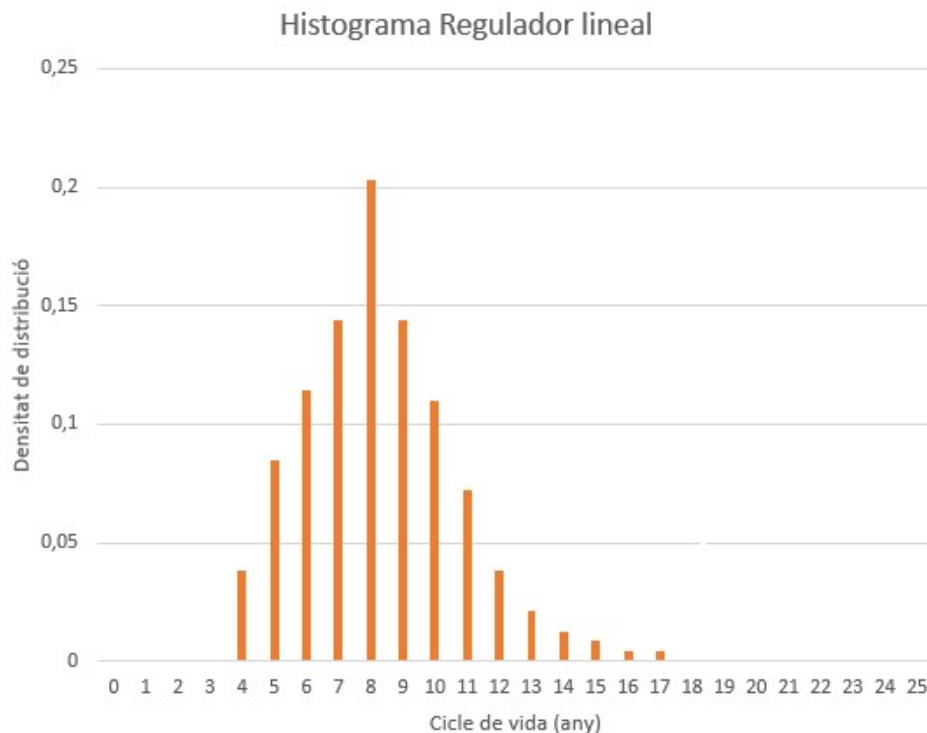
*Il·lustració 13: Gràfica de punts cicle de vida Regulador Lineal*

En aquesta gràfica de punts veiem un exemple del cicle de vida en comparació a la data d'introducció dels reguladors lineals, component electrònic que regula el voltatge entre la font d'alimentació i la càrrega, produint així un voltatge constant.

El cicle de vida mig pot ser analitzat mitjançant el marc estadístic del estudi del final de vida (Bayus et al., 1998). L'element d'interès és la data d'obsolescència del component, obtingut a partir de l'equació 1. Les dades que s'han d'utilitzar inclouen les dates d'introducció de tots els models d'un grup en particular de components electrònics (el que es vulgui estudiar en cada cas) i la data d'obsolescència d'aquest mateix que han passat fins el 2008.

Seguint el mètode d'anàlisi de Helsen i Schmittlein (Helsen & Schmittlein, 1993) i amb la gràfica de punts (il·lustració 14) si l'expresssem com una distribució de cicles de vida, en forma de densitat de casos,  $f(t)$ , amb la seva corresponent funció acumulativa d'aquesta distribució,  $F(t)$ , ens permetrà obtenir la taxa de risc,  $h(t)$ . Aquesta ens indicarà la probabilitat que té un component de convertir-se en obsolet en un temps  $t$ ,

assumint que en l'interval (0,t) és una referència activa. A continuació es descriuran pas a pas les gràfiques i les equacions que s'han utilitzat per poder arribar a obtenir la taxa de risc.



Il·lustració 14: Histograma Regulator Lineal

Un cop generat aquests histograma hem de convertir aquesta distribució de freqüències que hem aconseguit abans en una distribució contínua. Per fer-ho ens ajudarem de la distribució Weibull. A la teoria de la probabilitat i l'estadística, la distribució de Weibull és una distribució de probabilitat contínua que s'utilitza habitualment per a l'anàlisi de dades de supervivència, degut a la seva flexibilitat i tractabilitat matemàtica. Pot imitar el comportament d'altres distribucions com la distribució normal i reproduir exactament la distribució exponencial.

La funció de densitat d'una variable aleatòria amb la funció de Weibull  $x$  és :

$$f(x; \lambda, k) = \begin{cases} \frac{k}{\lambda} \left(\frac{x}{\lambda}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{\lambda}\right)^k} & x \geq 0 \\ 0 & x < 0 \end{cases} \quad (\text{Eq. 2})$$

On  $k > 0$  és el paràmetre de forma i  $\lambda > 0$  és el paràmetre de l'escala de distribució. Un valor  $k < 1$  indica que la taxa de falla decreix en el temps, mentre que un valor  $k = 1$  la taxa és constant i per  $k > 1$  la taxa creix. (Franco, 2016)

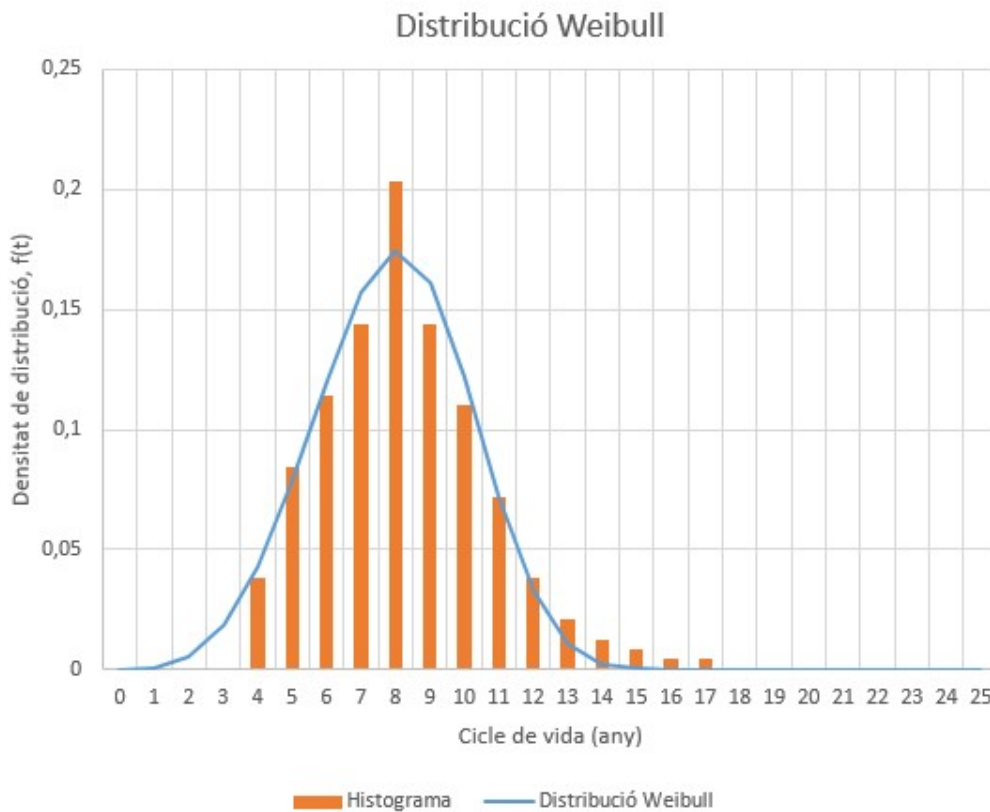
Si utilitzem les nostres variables, l'equació quedaria de la següent manera:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (\text{Eq. 3})$$

On  $t$  = cicle de vida (any) i  $\beta$  i  $\eta$  són els paràmetres de la funció.

Creant una primera aproximació tant de beta com d'eta ens servirà per, utilitzant la funció solver d'Excel, trobar el valor òptim d'aproximació d'aquests dos paràmetres.

Un cop obtingut els valors d'eta i beta adequats pel nostre histograma generem la funció obtenint el següent gràfic:



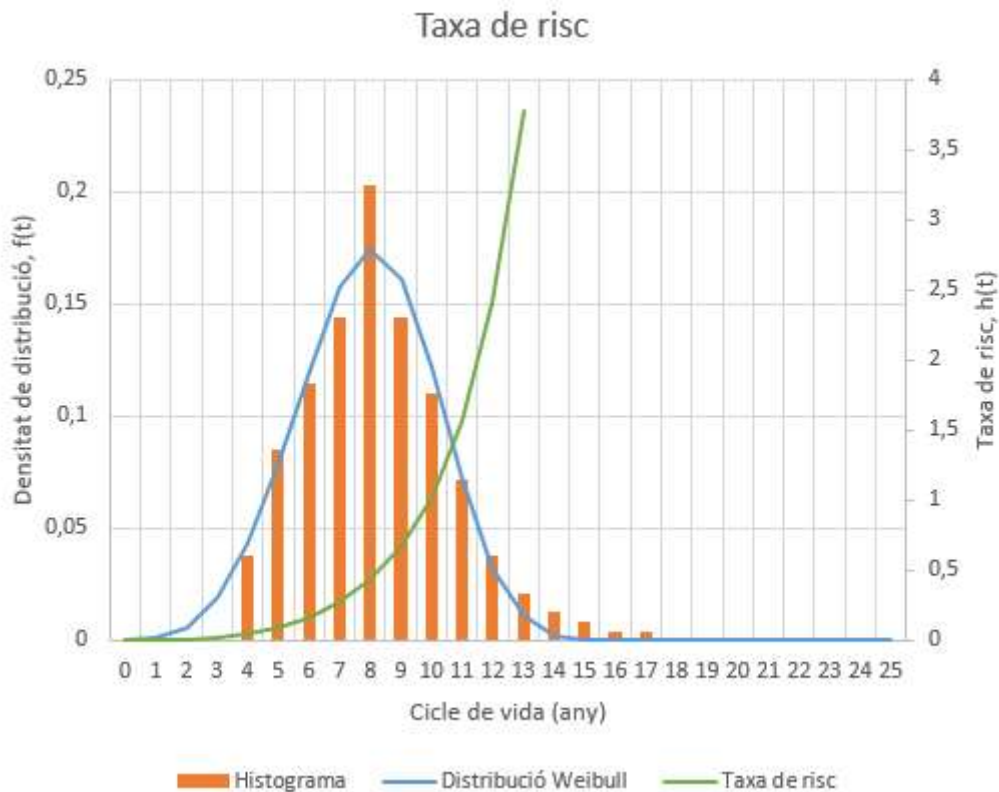
*Il·lustració 15: Distribució Weibull Regulador lineal*

Un cop graficada aquesta funció, el següent que hem de buscar és l'anomenada taxa de risc, que com hem explicat anteriorment ens permetrà veure la probabilitat que té un component de convertir-se en obsolet en un temps determinat. Aquesta taxa s'obté de la següent equació:

$$h(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} \quad (\text{Eq. 4})$$

Equació obtinguda dels estudis *Forecasting electronic part procurement lifetimes to enable the management of DMSMS obsolescence*. (Sandborn, Prabhakar, & Ahmad, 2011)

El resultats obtinguts seran així:



Il·lustració 16: Taxa de risc Regulador lineal

Arribats a aquest punt serem capaços de treure conclusions i comparar tot analitzant els cicles de vida de les nostres 4 bases de dades.

El següent pas serà calcular l'impacte ambiental real que té aquesta obsolescència de components al nostre planeta i per últim començar a definir un possible model amb les dades obtingudes anteriorment.

### 3.2. Avaluació de l'impacte ambiental

Per tal de saber l'impacte mediambiental que ens generen els productes que utilitzem a la nostra vida cal trobar la petjada ecològica que aquests suposen. Com hem comentat anteriorment els aparells tan electrònics com elèctrics tenen una marcada tendència a l'augment de l'obsolescència, cosa que repercuteix als recursos i la contaminació.

L'empresa Apple fa un report de responsabilitat mediambiental anual on informa de la seva contribució a reduir l'impacte sobre el planeta. Aquest report, comparant amb els resultats dels anàlisis de cicle de vida explicats a l'apartat 3.1, ens serviran per comparar i extreure, tant l'impacte a nivell de contaminació CO<sub>2</sub> com de recursos utilitzats en funció del cicle de vida que tinguin els productes.(Jackson, 2018)

### 3.3. Model

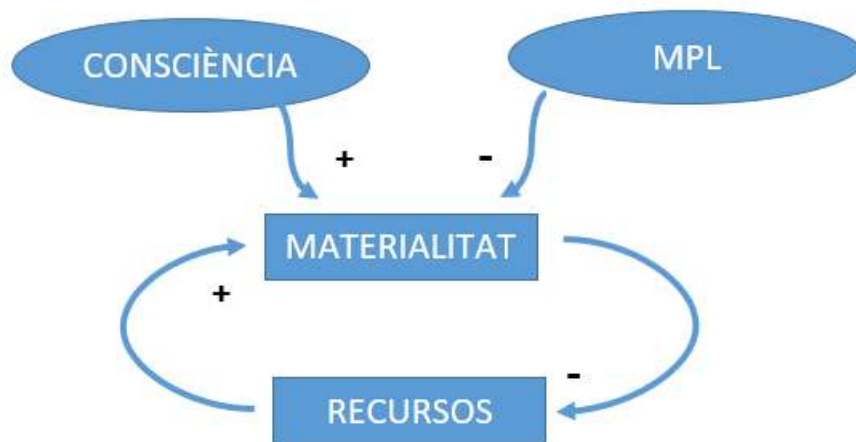
El desenvolupament del model en dinàmica de sistemes ha de permetre:

- Reproduir els resultats d'impacte ambiental.
- L'anàlisi de la seva evolució amb l'obsolescència (i.e., MPL), com a paràmetre de control.
- Observar l'evolució d'altres variables de les quals potser no se n'ha parlat, però en tot cas de manera conjunta.

En aquest sentit, el model definit per nosaltres conté les variables i paràmetres següents:

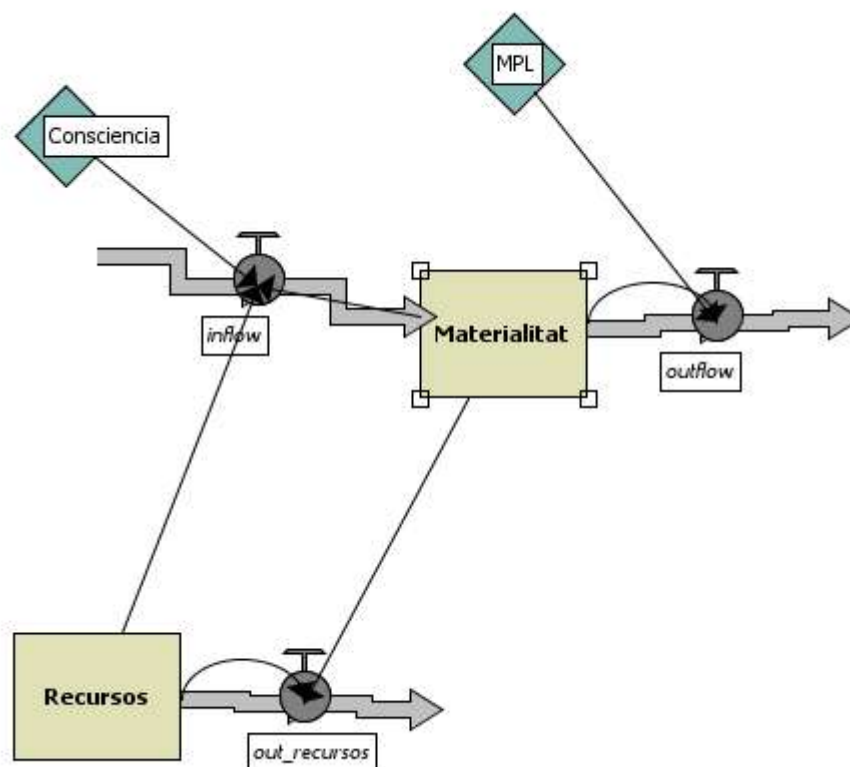
- Variables
  - **Materialitat.** Entenem com a materialitat (M) tots aquells productes que l'ésser humà crea per el seu ús i servei. D'aquesta manera englobem dins del mateix grup tot tipus d'elements físics. Això permet tractar la variable recursos, que explicarem a continuació, de la mateixa manera, és a dir, sense diferenciar recursos renovables i no renovables.
  - **Recursos.** Consum de recursos (R): variable que ens indica els recursos de matèries primes que fem servir per tota aquella fabricació dels productes que els humans consumim. Hauríem de fer un estudi acurat, similar al del cas del report d'Apple, però a nivell global.
- Paràmetres
  - *Mean procurement life* (MPL): després de desenvolupar en profunditat el tema de la obsolescència hem arribat a la conclusió que una de les millors maneres de donar un valor a aquest concepte és utilitzant el cicle de vida mig (an., mean procurement lifetime). Aquest pot ser considerat en funció de percentatge d'augment si volem estudiar casos de manera global o assignant-hi valors, si estudiem casos com l'anterior.
  - *Consciència (ecològica).* (CONS) Aquesta variable podria ser comptabilitzada directament en forma de percentatge. Tot i no tenir el mateix pes ni procés pels diferents tipus de materials, el reciclatge es pot entendre com un grau de conscienciació dels consumidors que també ha d'anar acompanyat pel compromís tant d'empreses com d'institucions públiques.

El diagrama causal entre aquestes variables i paràmetres queda com segueix:



Il·lustració 17: Diagrama causal obsolescència

El diagrama de flux generat amb aquest diagrama causal queda com segueix:<sup>1</sup>



Il·lustració 18: Diagrama de Forrester

<sup>1</sup> Model realitzat amb NetLogo (<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>)

Finalment, el sistema d'equacions diferencials que governen la complexitat del model queda definit com segueix:

$$\frac{d R}{d t}=R \cdot M \quad (\text{Eq. 5})$$

$$\frac{d M}{d t}=\left(\frac{1}{C O N S}\right) \cdot M \cdot R-\left(\frac{1}{M P L}\right) \cdot M \quad (\text{Eq. 6})$$

Val a comentar la relació inversa de M amb CONS i MPL. A mesura que augmenta el valor d'aquestes dues variables, al tractar-se de variables beneficioses pel nostre sistema, el valor de la materialitat cada cop hauria de disminuir. Introduint la funció inversa aconseguim aquest efecte.

## 4. Resultats

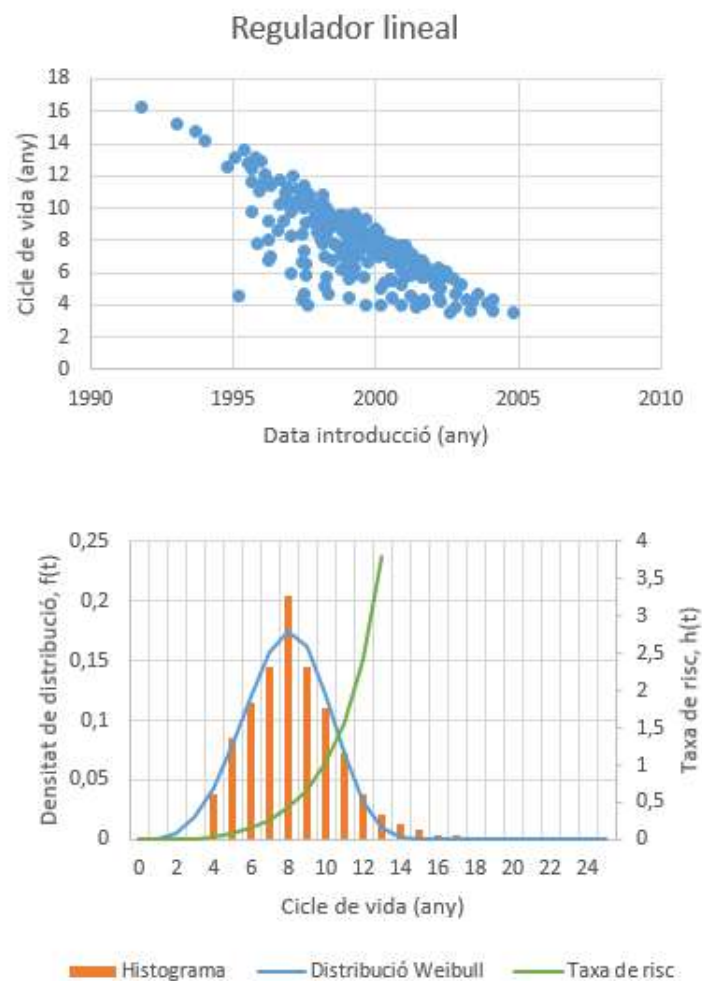
La metodologia explicada en l'apartat anterior s'ha aplicat a les quatre bases de dades seleccionades obtenint els següents resultats.

### 4.1. Cicle de vida mig

#### 4.1.1. Cas 1: Regulador lineal

Del primer cas d'estudi hem pogut obtenir dades de 236 models de Reguladors lineals. Pel que fa als cicles de vida hem obtingut uns valors compresos entre els 16,3 anys i els 3,56 anys. La mitjana en l'època d'estudi, compresa entre 1991 i 2005, és de 7,78 anys de duració.

Si observem els gràfics que hem anat obtenint seguint el procediment anterior apareixen els següents resultats:



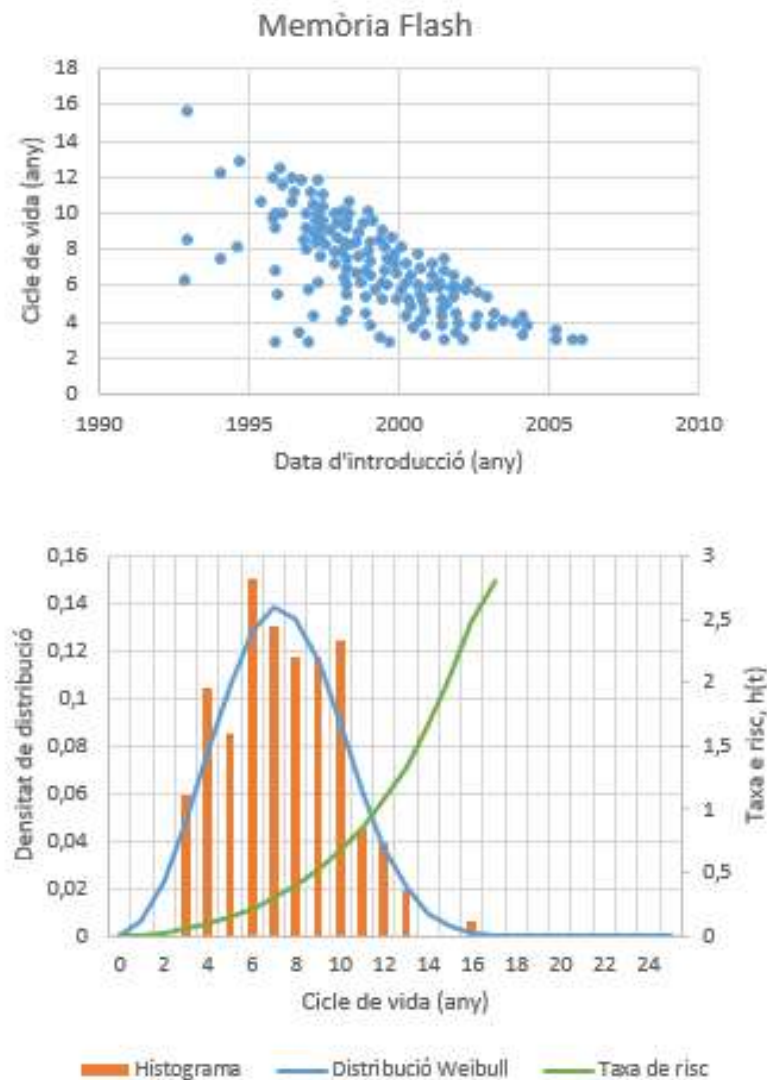
Il·lustració 19: Regulador lineal



## 4.1.2. Cas 2: Memòria flash

Pel segon cas d'estudi hem pogut obtenir dades de 153 models de memòria flash. Dels cicles de vida hem obtingut uns valors compresos entre els 15,5 anys i els 2,81 anys. La mitjana en l'època d'estudi, compresa entre 1992 i 2007, és de 6,93 anys de duració.

Si observem els gràfics que hem anat obtenint seguint el procediment anterior apareixen els següents resultats:

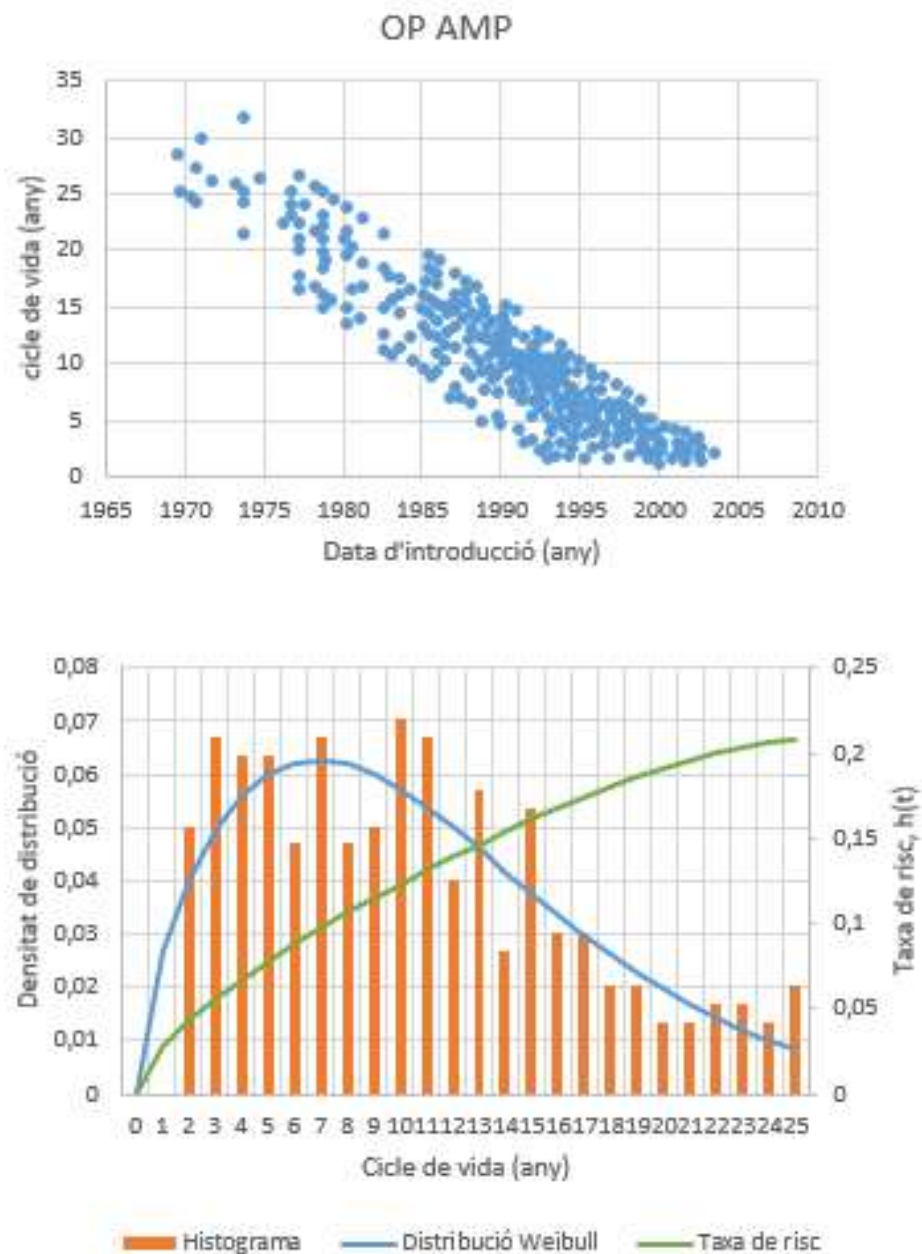


*Il·lustració 20: Memòria flash*

## 4.1.3. Cas 3: Amplificador operacional

Pel tercer cas d'estudi hem pogut obtenir dades de 298 models d'amplificadors operacionals. Dels cicles de vida hem obtingut uns valors compresos entre els 31,5 anys i els 1,04 anys. La mitjana en l'època d'estudi, compresa entre 1969 i 2004, és de 10,63 anys de duració.

Si observem els gràfics que hem anat obtenint seguint el procediment anterior apareixen els següents resultats:

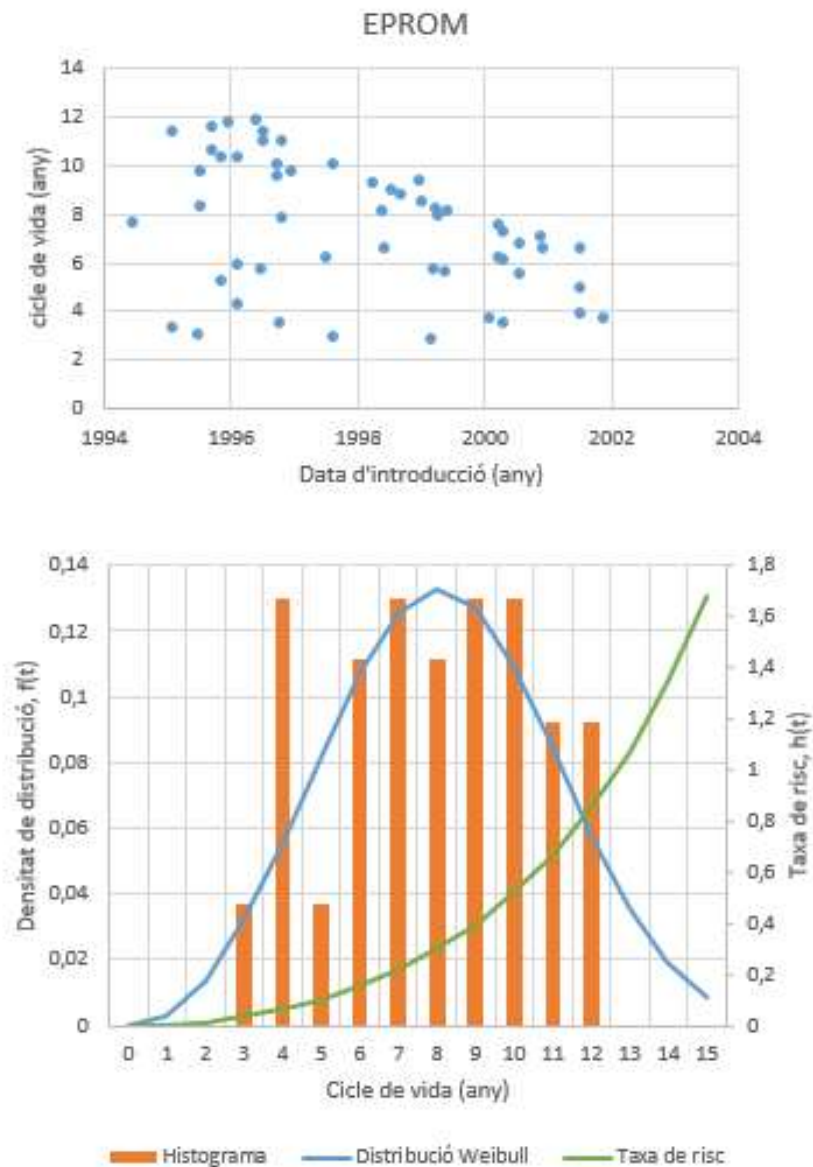


Il·lustració 21: Amplificador Operacional

## 4.1.4. Cas 4: Memòria EPROM

L'últim cas d'estudi consta de dades de 54 models de memòria EPROM. Dels cicles de vida hem obtingut valors compresos entre els 11,8 anys i els 2,75 anys. La mitjana en l'època d'estudi, compresa entre 1994 i 2002, és de 10,63 anys de duració.

Si observem els gràfics que hem anat obtenint seguint el procediment anterior apareixen els següents resultats:

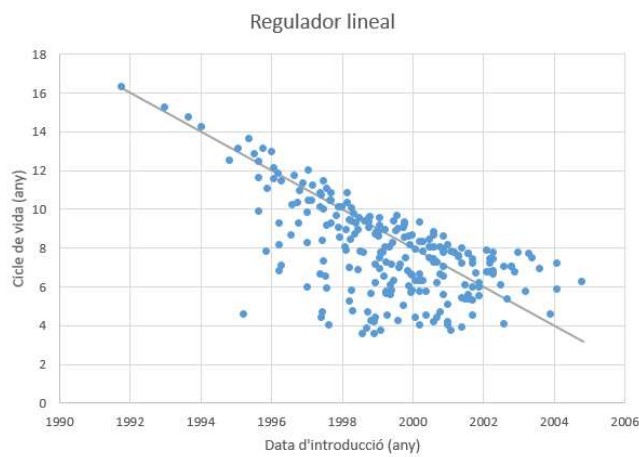


Il·lustració 22: EPROM

Si analitzem i comparem els quatre resultats obtinguts observem el següent:

Les gràfiques de punts (Il·lustracions 20, 21, 22 i 23) ens mostren una tendència molt marcada d'augment del nivell obsolescència any rere any. Això es manifesta clarament en dos dels casos d'estudi: el regulador lineal (cas 1) i l'amplificador operacional (cas 3). En canvi la tendència a la memòria flash (cas 2), tot i que també es manifesta, no es tant definida. Això pot ser degut a que l'obsolescència dels models siguin causades per millores i no tant per un motiu comercial. El mateix passa amb l'altre memòria (cas 4).

L'evolució continua d'aquests components pot condicionar l'obsolescència per motius de prestacions però en tots ells podem observar que amb els anys mai és recuperen els cicles de vida assolits a les dates d'inici de l'estudi.



Il·lustració 23: Línia de tendència

La línia de la imatge ens ajuda a observar que pràcticament no es recuperen els cicles de vida a mesura que avancen els anys.

Si ens centrem en el anàlisi de l'histograma, la distribució de Weibull i la taxa de risc, el factor que ens ajuda a determinar el valor mitjà del temps de vida del component en qüestió és el paràmetre  $\eta$  de cadascuna de les bases de dades (Taula 1).<sup>2</sup>

Component	$\eta$	$\beta$
Regulador lineal	8.7	3.9
Memòria flash	8.3	2.9
OP AMP	12.2	1.6
Memòria EPROM	9.1	3.1
<b>Mitjana</b>	<b>9.6</b>	<b>2.8</b>

Taula 1:  $\beta$  i  $\eta$  de les 4 casos estudiats

Aquest paràmetre ens permet obtenir una mitjana del cicle de vida d'aquest seguit de components electrònics. Tots ells són components interns utilitzats en els nostres

<sup>2</sup> El paràmetre  $\beta$  es pot associar a una distribució estàndar.

ordinadors. Com es pot observar, aquesta mitjana és similar en ordre de magnitud per a tots els components analitzats. En mitjana, obtenim un MPL de 9.6 anys.

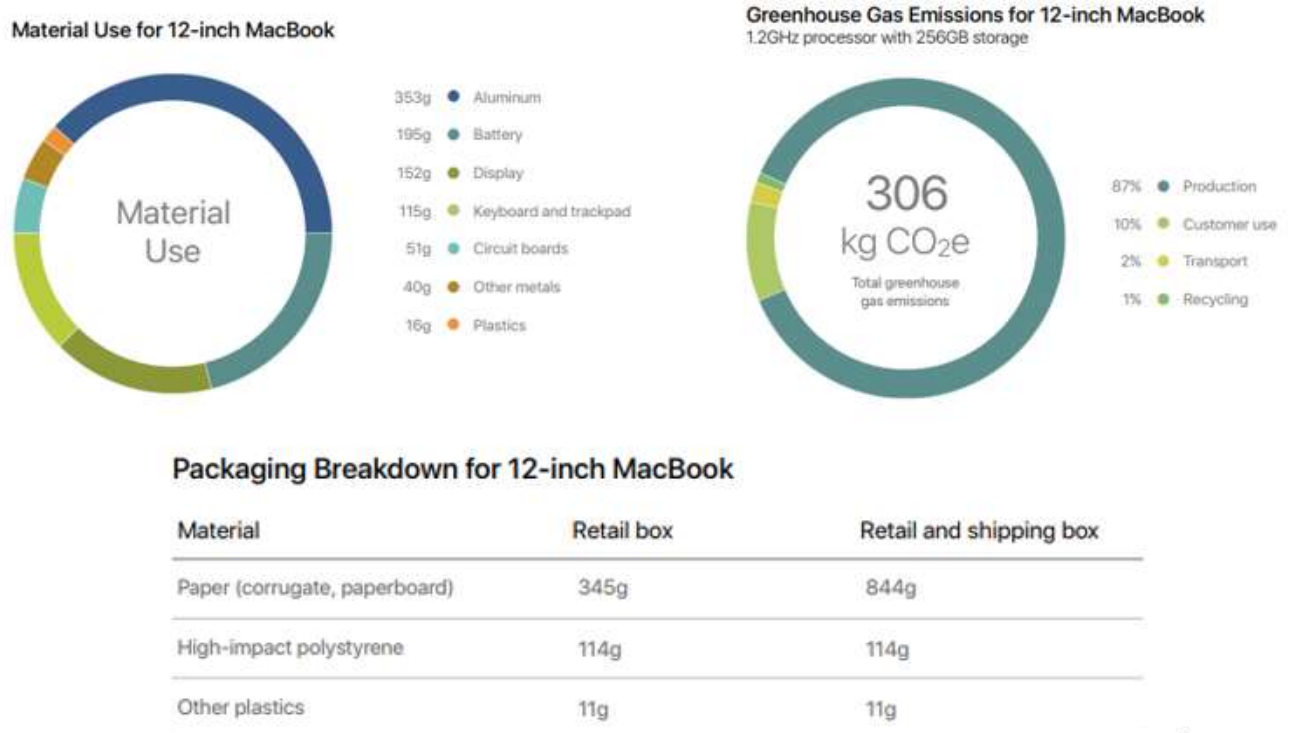
- *Hipòtesi 1.* Val a dir que si assumim aquesta mitjana com a la mitjana de vida que haurien de tenir els elements de major nivell que CONTENEN aquests components, hauríem d'assumir que els ordinadors, portàtils i altres elements TIC d'ús quotidià també haurien d'arribar a aquesta mitjana de vida.

Però la realitat és diferent. Segons estudis realitzats per Dunn (Dunn Darrell, 2005), la vida mitjana d'un ordinador portàtil és de 2 a 4 anys. (American, 2010)

Tenint en compte aquesta dada, ens preguntem ara què implica aquesta diferència en temps de vida pel medi ambient i els recursos materials. Per tal de saber-ho ens cal trobar la petjada ecològica de, per exemple, un ordinador portàtil. En aquest sentit, utilitzarem el report mediambiental d'Apple. (Jackson, 2018)

- *Hipòtesi 2.* La nostra anàlisi es basa, en aquest cas, en l'impacte dels ordinadors portàtils MacBook, per tant hem extret les dades únicament d'aquest model i assumim, per tant, per extensió, que tots els ordinadors deixen aquesta mateixa petjada ecològica.
- *Hipòtesi 3.* Per a fer-ho, assumirem que en l'era tecnològica en la que vivim una persona estarà lligada a un ordinador des dels 5 anys fins al dia que morirà. Agafarem com a valor l'esperança de vida el que hi ha actualment a Catalunya de 80 anys. Això suposa 75 anys de vida en possessió d'un ordinador.
- *Hipòtesi 4.* Tots aquests càlculs estan fets amb els reports actuals obviant possibles avanços tecnològics que permetin reduir els nivells d'impacte.

Creiem que són representatius, ja que és un problema que de la mateixa manera que el treballem amb la vida d'una sola persona es podria extrapolar a la quantitat augmentada d'ordinadors que es vendran durant el 2019.



Il·lustració 24: Impacte MacBook 12"

Si desglossem els percentatges que reflexa la gràfica circular de les emissions de gasos d'efecte hivernacle (Il·lustració 25), obtenim els següents valors:

Gasos d'efecte hivernacle (kg CO <sub>2</sub> e)	
Producció	266,22
Ús del consumidor	30,6
Transport	6,12
Reciclatge	3,06

Taula 2: Gasos d'efecte hivernacle per unitat de MacBook

Dels quatre aspectes que generen el total d'emissions, el valor d'ús del consumidor és un valor estimat al llarg del cicle de vida del producte. El problema és que Apple mai proporciona la informació ni fa cap tipus de càlcul al respecte de la vida mitjana dels seus ordinadors. En aquest sentit, aquí hem aplicat la teoria de la saviesa de grups (Page, 2007)

D'aquesta manera consultant diferents blogs hem obtingut el valor del cicle de vida a partir de l'experiència dels usuaris. Aquesta experiència situa la vida d'un Mac en els

5,5 anys. És per aquest motiu que el valor d'ús reflectit al report de la companyia ha estat interpretat de la següent manera:

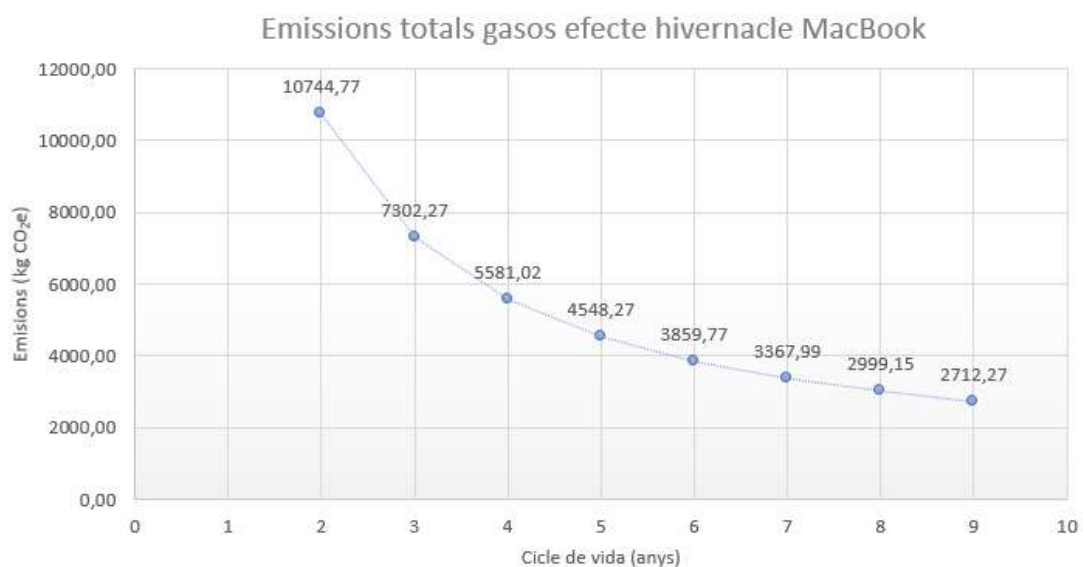
$$\text{Ús del consumidor anual} = \frac{\text{Ús del consumidor (Kg CO}_2\text{e)}}{5,5 \text{ (any)}} \quad (\text{Eq. 7})$$

D'aquesta manera podem obtenir els resultat anuals multiplicant pel total d'anys de vida (75 anys), obtenint l'impacte que té d'ús. Observem que és totalment independent del cicle de vida. La taula ens queda de la següent manera:

Cicle de vida (anys)	nº PC's / vida	Producció (kg CO <sub>2</sub> e)	Ús del consumidor (kg CO <sub>2</sub> e)	Transport (kg CO <sub>2</sub> e)	Reciclatge (kg CO <sub>2</sub> e)	Total emissions 75 anys	% augment anys cicle vida	% augment total emissions
2	38	9983	417	230	115	10745	78%	296%
3	25	6656	417	153	77	7302	67%	169%
4	19	4992	417	115	57	5581	56%	106%
5	15	3993	417	92	46	4548	44%	68%
6	13	3328	417	77	38	3860	33%	42%
7	11	2852	417	66	33	3368	22%	24%
8	9	2496	417	57	29	2999	11%	11%
9	8	2219	417	51	26	2712	0%	0%

Taula 3: Emissions totals de gasos efecte hivernacle (kg CO<sub>2</sub>e)

La gràfica del total d'emissions ens permet observar la reducció d'impacte que assoliríem allargant la vida útil dels portàtils en funció del temps de vida dels mateixos i per a una vida de 75 anys:



Il·lustració 25: Emissions gasos efecte hivernacle MacBook

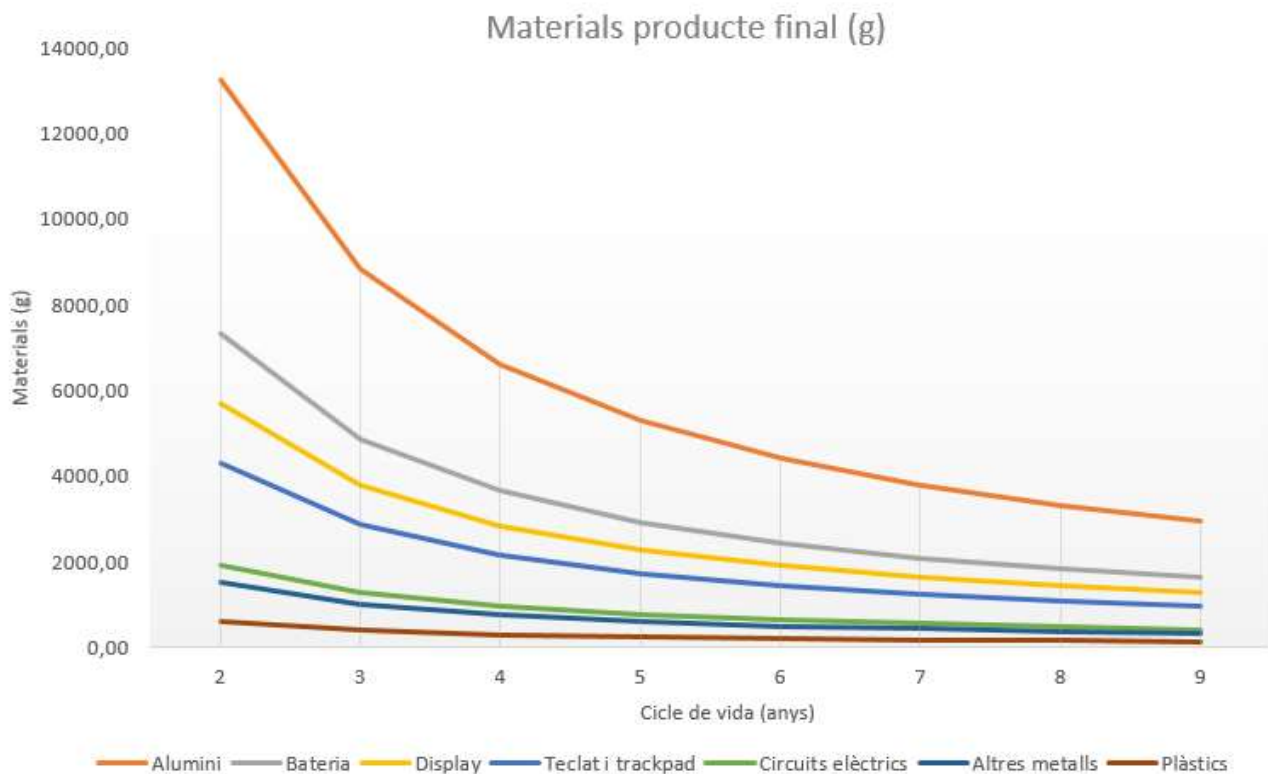
Si analitzem l'ús de materials a la producció les dades que s'obtenen són les següents:

Quantitat total de materials (g)

Cicle de vida (anys)	nº PC's / vida	Alumini	Bateria	Display	Teclat i trackpad	Circuits elèctrics	Altres metalls	Plàstics
2	38	13238	7313	5700	4313	1913	1500	600
3	25	8825	4875	3800	2875	1275	1000	400
4	19	6619	3656	2850	2156	956	750	300
5	15	5295	2925	2280	1725	765	600	240
6	13	4413	2438	1900	1438	638	500	200
7	11	3782	2089	1629	1232	546	429	171
8	9	3309	1828	1425	1078	478	375	150
9	8	2942	1625	1267	958	425	333	133

Taula 4: Quantitat materials que componen els ordinadors utilitzats al llarg de 75 anys

La gràfica dels materials utilitzats en el producte acabat queda de la següent manera:



Il·lustració 26: Materials utilitzats en els MacBook durant 75 anys

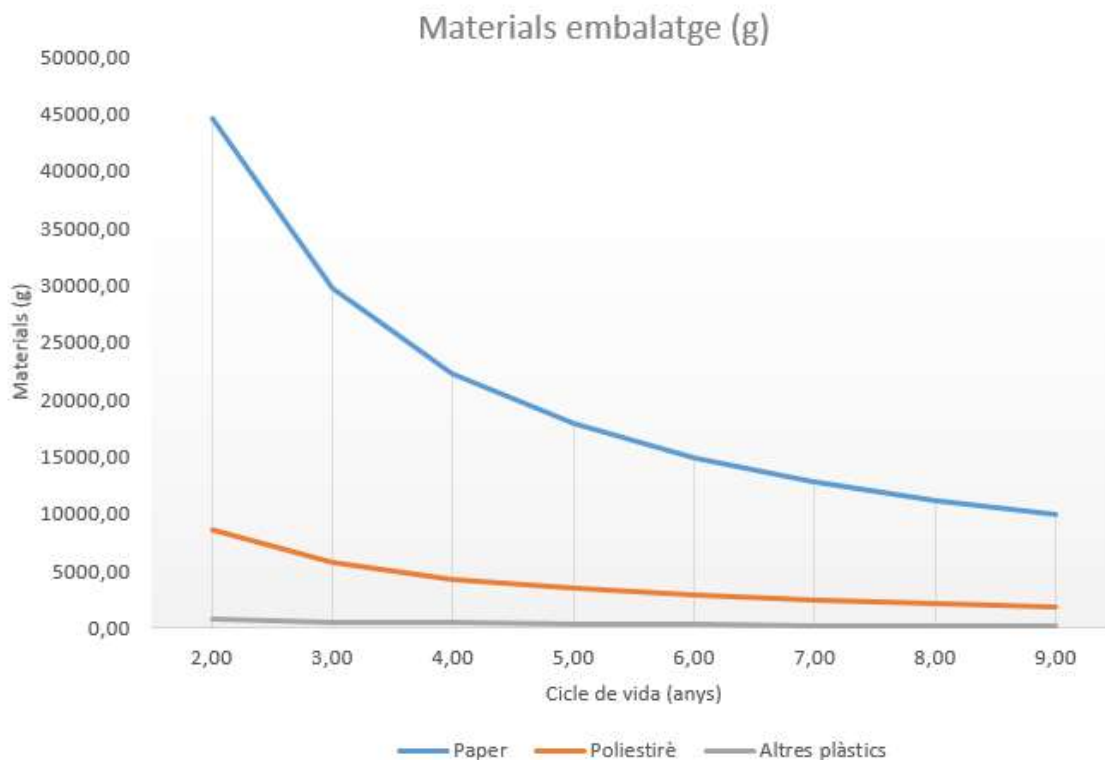


Si analitzem l'ús dels materials a la distribució, les dades són:

Materials embalatge (g)				
<i>Cicle de vida (anys)</i>	<i>nº PC's / vida</i>	<i>Paper</i>	<i>Poliestirè</i>	<i>Altres plàstics</i>
2	38	44588	8550	825
3	25	29725	5700	550
4	19	22294	4275	413
5	15	17835	3420	330
6	13	14863	2850	275
7	11	12739	2443	236
8	9	11147	2138	206
9	8	9908	1900	183

*Taula 5: Quantitat material d'embalatge utilitzat al llarg de 75 anys*

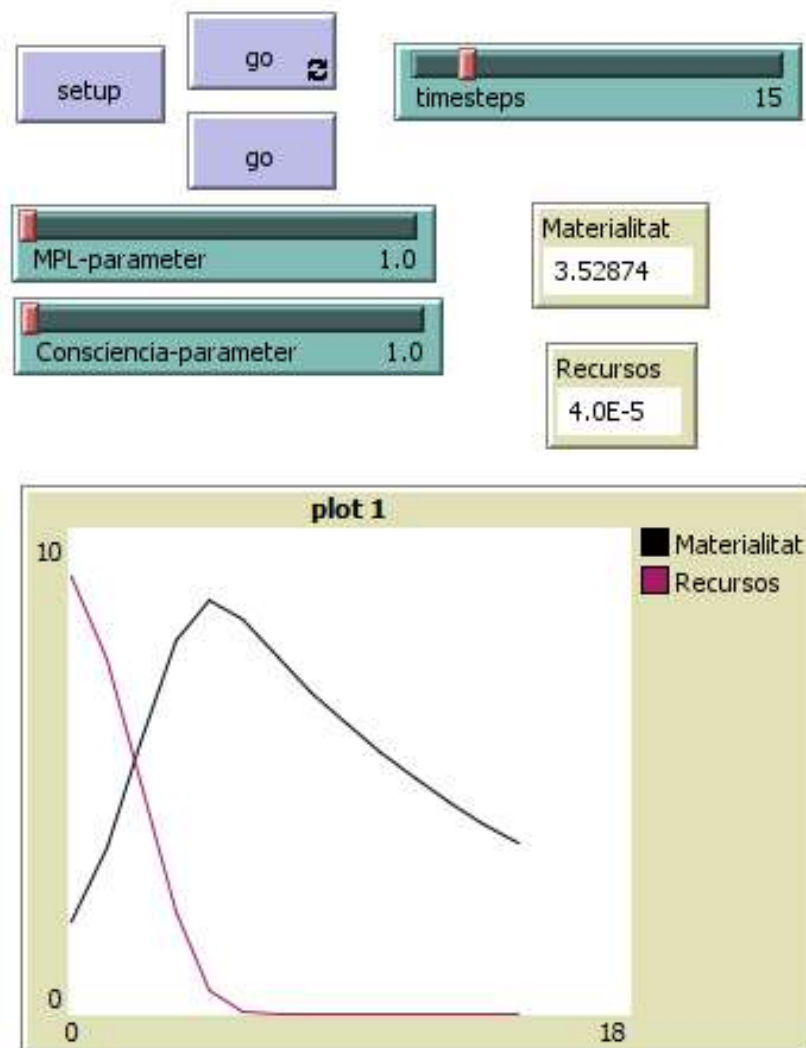
Obtenint la següent gràfica:



*Il·lustració 27: Materials utilitzats en la distribució dels MacBook durant 75 anys*

#### 4.2. Model en dinàmica de sistemes<sup>3</sup>

Els resultats obtinguts amb el model de dinàmica de sistemes es mostren tot seguit. Tots ells han estat simulats amb un mateix nombre de quinze graons temporals (an., *timesteps*). Veurem els resultats gràfics (an., *displays*) obtinguts mitjançant el modelador de dinàmica de sistemes de NetLogo<sup>®</sup> pels casos que es consideren extrems, és a dir, modificant el valor del MPL i de la consciència, el rang de valors dels quals està comprés entre l'1 i el 10.

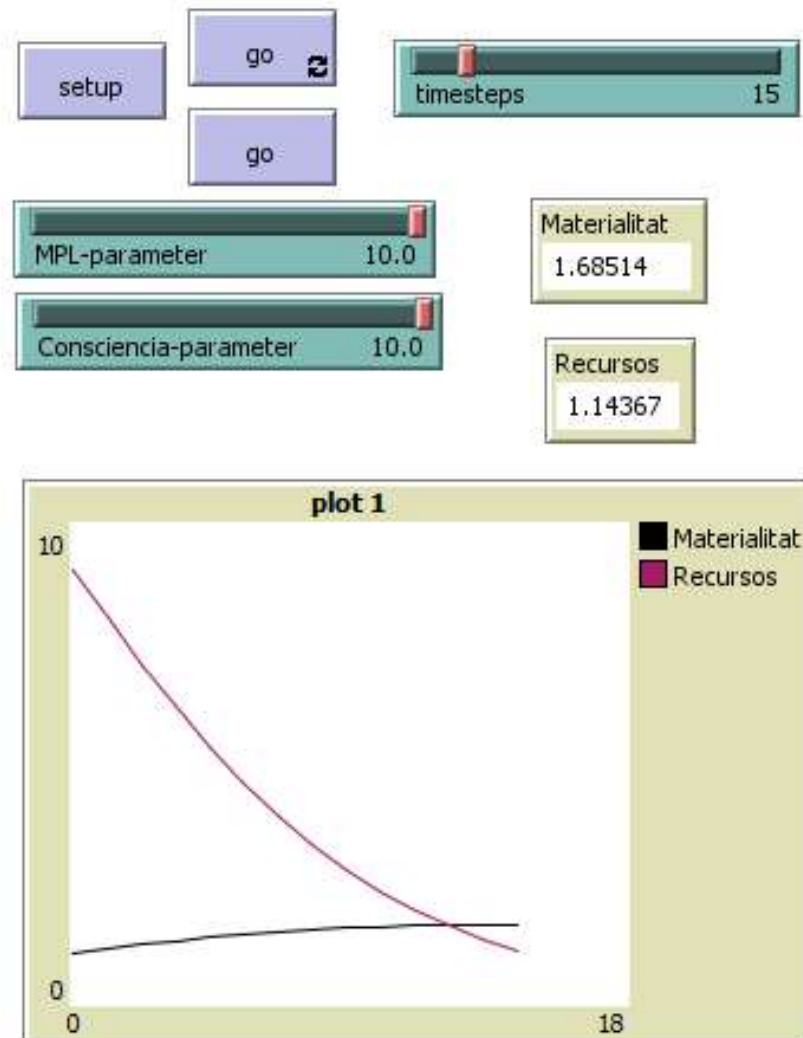


Il·lustració 28: Display 1

<sup>3</sup> Els models presentats en aquesta secció són accessibles públicament a les adreces:

<https://drive.caminstech.upc.edu/index.php/s/Oq115eT7qwYfsBJ>  
<https://drive.caminstech.upc.edu/index.php/s/zSJKcuznTvNZxXb>

Aquí podem observar el cas més extrem on tant MPL com consciència estan parametritzats amb els seus valors mínims, per tant veiem que els recursos s'esgoten i la materialitat cau.



Il·lustració 29: Display2

Quan apliquem les condicions inverses observem que, tot i millorar la situació, el nivell de recursos no es recupera, per tant tot i millorar el problema no es soluciona ni molt menys. Això és indicador de la necessitat d'introduir una nova variable de flux que permeti reciclar recursos. De totes maneres analitzar aquest model ens pot donar una quantitat elevada d'informació.

Si ens centrem en l'anàlisi de l'últim step, el 15, en el que tots els recursos han estat transformats en materialitat i que aquesta materialitat es manté en el temps en funció del temps de vida mitja dels productes (MPL de la materialitat), el que podem observar a l'aplicar a les nostres dades un format condicional amb escala cromàtica és el següent:

MPL	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
Consciència																			
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3,5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4,5	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5,5	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
6	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
6,5	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7,5	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8,5	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
9,5	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Taula 6: Recursos step 15

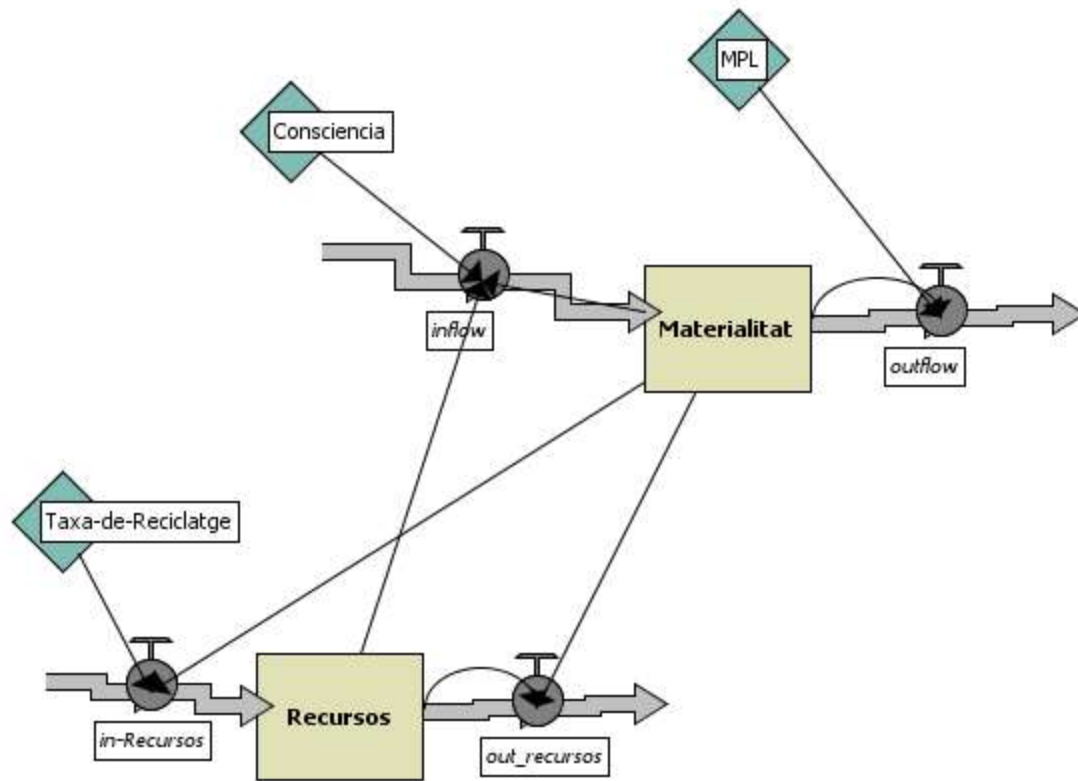
Quan observem el nivell de recursos restants en funció de les variables de flux *Mean procurement life* i conscienciació el que observem és la importància que té aquesta segona. De la mateixa manera veiem que arriba un punt on per molt que augmentem el nivell de consciència o de cicle de vida el sistema es manté pràcticament invariable. Per tant d'aquí podríem valorar quan s'ha de deixar de fer esforços per millorar en un d'aquests dos camps i buscar més solucions a partir d'altres variables.

MPL	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
Consciència																			
1	4	5	6	7	8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	10
1,5	3	4	4	5	5	6	6	6	6	6	6	6	7	7	7	7	7	7	7
2	2	3	4	4	4	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
2,5	2	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	5
3	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3,5	1	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4,5	1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
5,5	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6,5	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
7,5	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
8,5	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
9,5	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Taula 7: Materialitat step 15

En canvi, quan observem el nivell de materialitat restant el que s'interpreta és una relació directe entre materialitat i MPL. Pel contrari el que aconseguim amb la consciència és enrederir la materialitat, no perquè no hi hagi recursos disponibles, si no perquè no hi ha el desig de posseir-los.

Si introduïm la nova taxa de reciclatge obtindríem el següent diagrama de Forrester i les següents equacions:

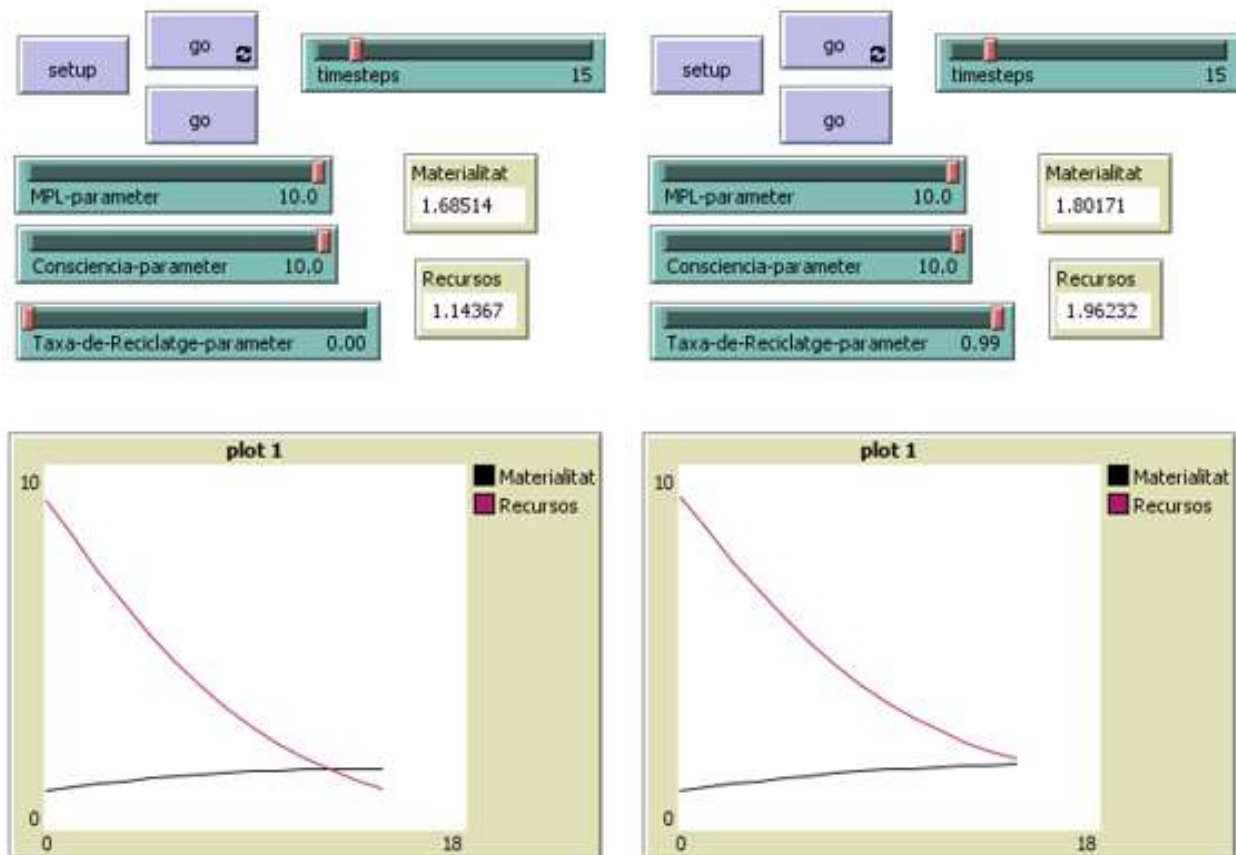


Il·lustració 30: Model Forrester 2

$$\frac{dR}{dt} = M \cdot REC - (R \cdot M) \quad (\text{Eq. 8})$$

$$\frac{dM}{dt} = \left(\frac{1}{CONS}\right) \cdot M \cdot R - \left(\frac{1}{MPL}\right) \cdot M \quad (\text{Eq. 9})$$

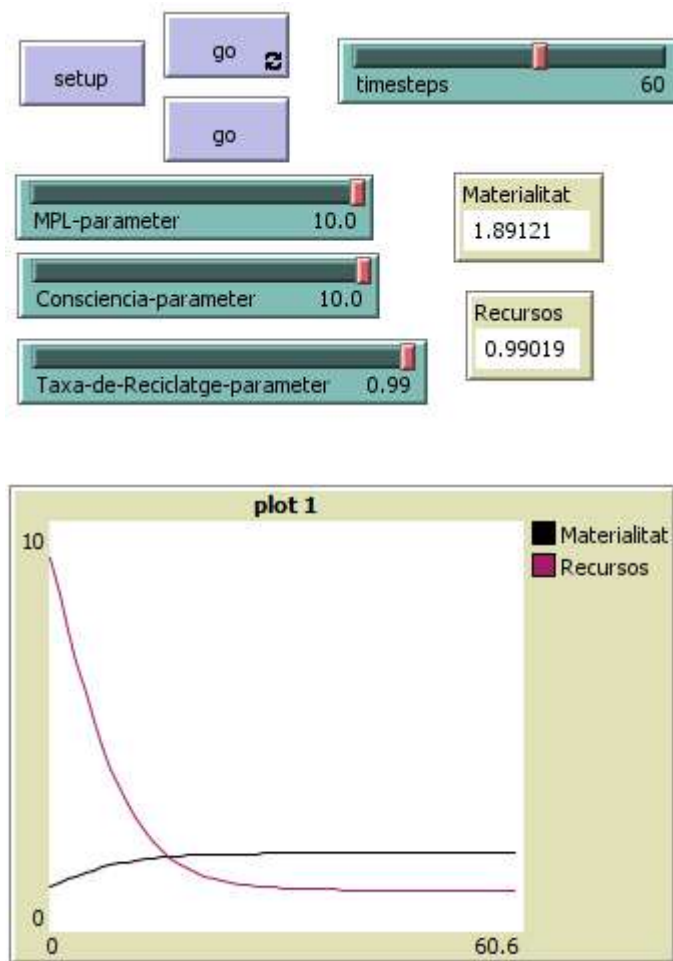
D'aquesta manera al veure els displays observem el següent:



Il·lustració 31: Display nou model reciclatge

Podem observar que amb un nivell 0 de reciclatge obtenim exactament el mateix que amb el primer model creat (il·lustració 30), en canvi quan augmentem la taxa de reciclatge el que ens permet és obtenir una quantitat major d'objectes, ja que la materialitat és major alhora que mantenir un nivell de recursos més elevat.

Si seguim simulant el model durant un període més llarg de temps observem que una política de reciclatge com aquesta ens permetria mantenir uns nivells constants de recursos durant un període molt prolongat:



Il·lustració 32: Model reciclatge amb 60 steps

L'últim element del qual no hem parlat en el nostre sistema és la contaminació. Haurem d'utilitzar el nostre primer model per poder fer-ne una lectura bàsica. Podríem entendre com a contaminació tota aquella materialitat que, un cop passat el primer pic on els recursos s'han convertit en objectes (il·lustració 29) els productes van deixant de ser utilitzables degut al cicle de vida que tenen, això és l'obsolescència. En aquell punt, sabent que el nostre sistema està programat amb un valor màxim de recursos de deu unitats, aquestes s'han de repartir entre materialitat i contaminació, entenent aquí que tot allò que no és materialitat ha passat a contaminar el medi ambient (sigui en forma de CO2 o qualsevol altre tipus de contaminació). Per tant l'equació de la contaminació quedarà de la següent manera:

$$CONT = 10 - MAT \quad (\text{Eq. 10})$$

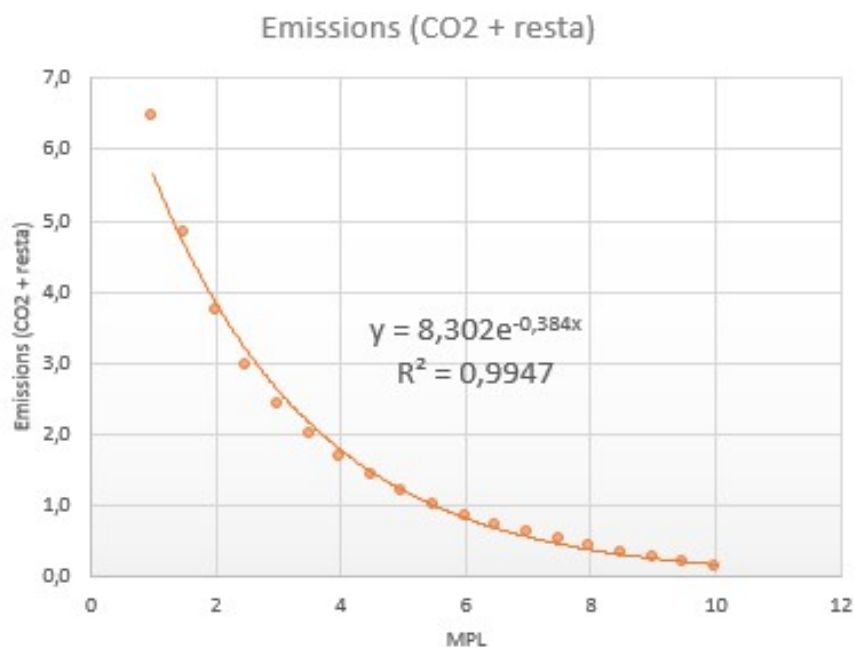


Quedant per l'últim step (15) del nostre estudi els nivells de contaminació, en funció del grau de MPL, de la següent manera:

MPL	Materialitat existent a l'últim time step	Emissions (CO2 + resta)
1	3,5287426	6,5
1,5	5,1877125	4,8
2	6,2759643	3,7
2,5	7,0301154	3,0
3	7,5812201	2,4
3,5	8,0004990	2,0
4	8,3290748	1,7
4,5	8,5933101	1,4
5	8,8103204	1,2
5,5	8,9916752	1,0
6	9,1454654	0,9
6,5	9,2775139	0,7
7	9,3921158	0,6
7,5	9,4925075	0,5
8	9,5811729	0,4
8,5	9,6600501	0,3
9	9,7306729	0,3
9,5	9,7942709	0,2
10	9,8518416	0,1

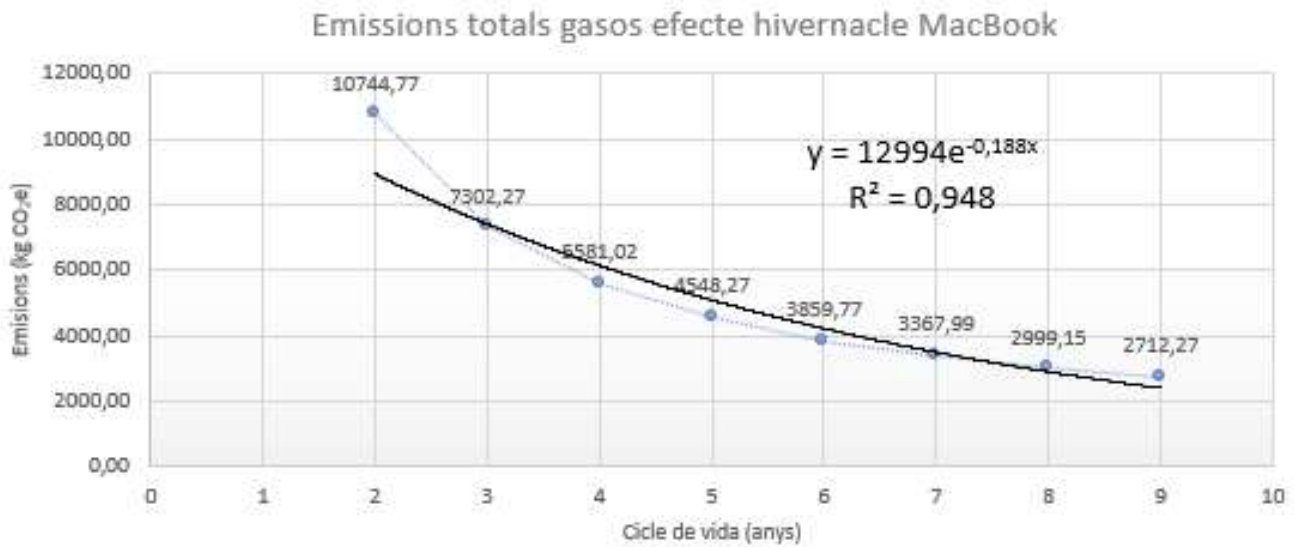
Taula 8: Taula contaminació

Obtenint la gràfica exponencial decreixent:



Il·lustració 33: Gràfica Contaminació model 1

Si observem la il·lustració 26, on també estudiàvem les emissions de CO<sub>2</sub> veiem que obtenim un decreixement similar. Això és interessant, ja que, amb dos metodologies diferents, cadascuna amb els seus rangs de valors podem arribar a unes conclusions qualitativament similars.



Il·lustració 34: Gràfica contaminació MacBook

## 5. Conclusions

El tema de la obsolescència i tots els seus impactes derivats a nivell ambiental és un tema que causa controvèrsia. Tot i haver estat força estudiat encara no s'han arribat a treure conclusions determinants. D'aquí deriva la motivació que em va portar a desenvolupar el PFG sobre aquesta temàtica. Durant el transcurs del treball s'han pogut arribar a algunes conclusions.

Hem observat que en ocasions l'evolució i els avanços condemnen productes a l'obsolescència. El problema és que per a molts dels consumidors els seria suficient el nivell de desenvolupament anterior, ja que acabem obtenint productes sobre capacitats per les nostres necessitats.

L'anàlisi de l'obsolescència ens ha plantejat moltes dificultats per arribar a unes dades que poguessin utilitzar-se i donar certes garanties de fiabilitat. S'interposen aquestes traves, ja que és una qüestió que genera molts interessos i es mira que no es pugui accedir a informacions vetades a nivell empresarial. Algunes d'aquestes dades existents només estan disponibles a un cost molt elevat, amb l'objectiu d'enfocar-les a grans empreses.

La consulta d'estudis a nivell d'anàlisi de cicle de vida i impacte mediambiental s'ha tractat de fer el més amplia possible, tot i les limitacions ja esmentades, preguntant a diversos especialistes en aquest camp. S'ha consultat a Peter A. Sandborn, autor de *Forecasting electronic part procurement lifetimes to enable the management of DMSMS obsolescence*, als membres del CSIC Joan Baptista Company i Jordi Solé Ollé, aquest últim dedicat a l'estudi de l'impacte mediambiental a nivell europeu. També a l'empresa Johnson Controls Hitachi. El resultat d'aquestes comunicacions ens ha servit per constatar el que havíem pogut observar al llarg del desenvolupament del treball, és un tema en el qual hi ha molts interessos posats i cada vegada s'hi estan dedicant més recursos, però la disparitat entre els estudis realitzats fins al moment està generant molt debat sense arribar a assolir cap resultat veraç.

Degut a aquestes dificultats per obtenir les dades per poder-les tractar, només es va fer l'anàlisi de cicle de vida de quatre components. Tot i que el plantejament inicial era poder estudiar més components, les conclusions que se'n poden treure són força interessants.

Els components dels dispositius que formen part de la nostra tecnologia més visible, com pot ser el cas del MacBook estan preparats per durar molts més anys dels que realment acaba durant el producte final. Això fa pensar que hi ha alguna cosa que limita l'ús d'un producte que podria treballar perfectament. De la mateixa manera que, com hem comentat anteriorment, ens hauria agradat estudiar més components també ens hagués agradat poder estudiar més models i, sobretot, més marques.

La companyia Apple presenta anualment uns reports de tots els seus productes, així com un de general de la companyia que està avalat per empreses avaluadores de

conformitat i certificació com Bureau Veritas i organitzacions d'investigació com Fraunhofer Institute. Aquests reports, tot i ser de gran valor, eludeixen sempre l'element més important en que s'han de basar els càlculs, el cicle de vida. Entenem que no és una data que puguin precisar amb exactitud ni amb una tolerància de més menys un any però, com hem explicat anteriorment, ells han realitzat un càlcul d'impacte dels kg de CO<sub>2</sub>e de l'ús del consumidor. Aquest valor, o bé perquè saben les hores que l'aparell és capaç de suportar o saben els anys de vida que durarà, indica que tenen coneixement de la dada que eviten publicar.

Hem pogut evidenciar que la relació de l'impacte a nivell ambiental i de consum de recursos presenta una recta de decreixement no lineal, fet que fa palesa la importància d'augmentar els cicles de vida, ja que si no el col·lapse serà inevitable. Actualment ja han aparegut grans problemàtiques derivades de la gestió de dispositius electrònics, i diverses institucions mundials alerten del risc que suposa que els països subdesenvolupats esdevinguin l'abocador del primer món.

Pel que fa al desenvolupament de model amb el treball de les variables realitzat podem treure conclusions i avançar en la matèria. Hem observat la importància de triar bé on s'han de gastar més recursos per seguir millorant i on es necessari buscar altres punts d'actuació, ja que el nivell d'esforços invertits no obté una rendibilitat de resultats tant elevada. De totes maneres ja queden pautades línies de treball a continuar desenvolupant en un futur, en altres investigacions o estudis a realitzar per institucions, altres estudiants o jo mateix, per tal de seguir acotant i millorant el model.

El model plantejat inclou els conceptes bàsics i imprescindibles, però hi ha altres variables auxiliars que s'hi podrien incloure; com són la fidelització i els recanvis. La fidelització impedeix abusar encara més del que ho fan. La incapacitat de sostenir empreses que generin una competència real, fa que les grans corporacions creïn acords per beneficiar-se entre elles. Fet que ens porta a la següent variable, els recanvis. Tothom hauria de decidir si vol adquirir un recanvi o adquirir un producte nou. Però arriba a un punt que les empreses no donen la possibilitat, ja que no en comercialitzen més.

El model socioeconòmic actual no és sostenible a mig i llarg termini, ja que va en detriment del medi ambient i els recursos de que disposem. És per això que s'haurien de legislar unes polítiques més estrictes que a la llarga afavorissin altres models de consum. Així s'aconseguiria un altre tipus de benestar social en que es creessin negocis de reparació i reutilització o punts de reciclatge. Per tant, afavorissin els petits negocis i no tan les grans empreses, com fins ara.

Per acabar, m'agradaria dir que tot i que les línies de treball han variat en les diverses etapes del seu desenvolupament, estic satisfet amb els resultats obtinguts. M'ha permès adonar-me del gran treball que fan els investigadors a l'intentar moure's en un món amb tantes traves, on moltes vegades l'esforç i hores dedicades no es veuen compensades.

## 6. Referències

- 1920 Oldsmobile Model 37-B - Information and photos - MOMENTcar. (n.d.). Retrieved June 21, 2018, from <http://momentcar.com/oldsmobile/1920/oldsmobile-model-37-b/>
- American, S. (2010). Environmental Impact of Personal Computers : Need for Precise Assessment, 2008–2010.
- Aracil, J. (1978). *Introducción a la dinámica de sistemas*. Madrid: Alianza Editorial.
- Bartels, B., Ermel, U., Pecht, M., & Sandborn, P. (2012). *Strategies to the Prediction, Mitigation and Management of Product Obsolescence. Strategies to the Prediction, Mitigation and Management of Product Obsolescence*. <https://doi.org/10.1002/9781118275474>
- Basel Convention Home Page. (2011). Retrieved June 22, 2018, from <http://www.basel.int/>
- Bayus, B. L., Griffin, A., & Lehmann, D. (1998). From the Special Issue Editors. *Journal of Product Innovation Management*, 15(2), 108–110. <https://doi.org/10.1111/1540-5885.1520108>
- Braungart, M., McDonough, W., & Bollinger, A. (2007). Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions - a strategy for eco-effective product and system design. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.003>
- Brown, J. H., Burnside, W. R., Davidson, A. D., Delong, J. R., Dunn, W. C., Hamilton, M. J., ... Zuo, W. (2011). Energetic limits to economic growth. *BioScience*, 61(1), 19–26.
- Circular Economy System Diagram - Ellen MacArthur Foundation. (2017). Retrieved August 16, 2018, from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/circular-economy/interactive-diagram>
- Dannoritzer, C. (2012). *Obsolescencia Programada (COMPRAR, TIRAR, COMPRAR)*. 2012. Spain: rtve. Retrieved from <http://www.rtve.es/television/documentales/comprar-tirar-comprar/>
- Donato Campos, J. de M., Dormido Canto, S., & Morilla García, F. (2005). Fundamentos de la dinámica de sistemas y Modelos de dinámica de sistemas en epidemiología. *Manual Dinámica Sistemas*, 69. Retrieved from [http://www.proyectosame.com/ds\\_documentos/manual\\_dinamica\\_sistemas.pdf](http://www.proyectosame.com/ds_documentos/manual_dinamica_sistemas.pdf)
- Dunn Darrell. (2005). The PC Replacement Decision - InformationWeek. Retrieved September 27, 2018, from <https://www.informationweek.com/the-pc-replacement-decision/d/d-id/1033629>
- Franco, A. (2016). Función de distribución de Weibull. Retrieved September 12, 2018, from <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/datos/viento/estadistica.html>

- Fundació energia e innovación sostenible sin obsolescencia programada - Cártel Phoebus | Fennis.org. (2016). Retrieved June 21, 2018, from <http://fennis.org/cartel-phoebus/>
- Helsen, K., & Schmittlein, D. C. (1993). Analyzing Duration Times in Marketing: Evidence for the Effectiveness of Hazard Rate Models. *Marketing Science*, 12(4), 395–414. <https://doi.org/10.1287/mksc.12.4.395>
- Here's Another Samsung Galaxy S5 Render, Looks Quite Different from Previous Galaxy S Family Members | Androidheadlines.com. (2013). Retrieved June 22, 2018, from <https://www.androidheadlines.com/2013/10/heres-another-samsung-galaxy-s5-render-looks-quite-different-previous-galaxy-s-family-members.html>
- iPod's Dirty Secret - from 2003 - YouTube. (2003). Retrieved June 22, 2018, from <https://www.youtube.com/watch?v=SuTcavAzopg>
- Jackson, L. (2018). Environmental responsibility report: 2018 progress report, covering fiscal year 2017. *Apple*. Retrieved from [https://www.apple.com/environment/pdf/Apple\\_Environmental\\_Responsibility\\_Report\\_2018.pdf](https://www.apple.com/environment/pdf/Apple_Environmental_Responsibility_Report_2018.pdf)
- Johnson, S. (2011). *Las buenas ideas. Una historia natural de la innovación*. Madrid: Turner Noema.
- L'abocador tecnològic. (2015). *El Periódico*. Retrieved from <https://www.elperiodico.cat/ca/internacional/20150227/labocador-tecnologic-3978096>
- London, B. (1933). The new prosperity. *New York*, 67. Retrieved from [https://openlibrary.org/works/OL7543626W/The\\_new\\_prosperity](https://openlibrary.org/works/OL7543626W/The_new_prosperity)
- Masvoltaje. (2016). La bombilla que lleva encendida 115 años: Misterio eléctrico. Retrieved September 11, 2018, from <https://masvoltaje.com/blog/bombilla-encendida-mas-de-100-anos-n14>
- Meadows, D. H. ., Meadows, D. L. ., Randers, J., & Behrens, W. W. (1972). The Limits to Growth: A Report to The Club of Rome. *Universe*, 1–9. <https://doi.org/10.1080/07293682.2004.9982332>
- Meadows, D. H., Randers, J., & Meadows, D. L. (2004). *The limits to growth : the 30-year update*. Chelsea Green Publishing Company. Retrieved from <https://books.google.ca/books?id=3YS4AAAAIAAJ&q=9781931498586&dq=9781931498586&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjg6drp4t7XAhWMPI8KHfrPBjMQ6AEIJzAA>
- Modelització amb equacions. (n.d.).
- Our History | Brooks Stevens. (2018). Retrieved June 21, 2018, from <https://brooksstevens.com/our-history>
- Packard, V. (1960). The Waste Makers. *The Waste Makers*. <https://doi.org/Lamont:CB478.P4Hilles:901.9P36>
- Page, S. (2007). *The Difference: How the Power of Diversity Creates Better Groups, Firms, Schools, and Societies*. Princeton Univeristy Press.

- Sandborn, P., Prabhakar, V., & Ahmad, O. (2011). Forecasting electronic part procurement lifetimes to enable the management of DMSMS obsolescence. *Microelectronics Reliability*, 51(2), 392–399. <https://doi.org/10.1016/j.microrel.2010.08.005>
- Scheel Mayenberger, C., & Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Universidad Virtual. (2001). *Modelación de la dinámica de ecosistemas* (1a ed.). México D.F.: Editorial Trillas. Retrieved from <http://www.worldcat.org/title/modelacion-de-la-dinamica-de-ecosistemas/oclc/689608624>
- SiliconExpert - Electronic Components Database. (2018). Retrieved October 3, 2018, from <https://www.siliconexpert.com/>
- Strogatz, S. H. (1994). *Nonlinear dynamics and Chaos : with applications to physics, biology, chemistry, and engineering*. Reading, Mass.: Westview Press.
- Ward, J. (2002). Sloan rules: Alfred P. Sloan and the triumph of General Motors. *The Journal of American History*, 292.